Die elektrischen Eigenschaften

des

Porzellans.

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung der philosophischen Doktorwürde

vorgelegt der

PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT

der

UNIVERSITÄT BASEL

von

Harold Firth Haworth. M. Sc. (Vict), B. Eng (L'pool)
1851 Exhibition Scholar of the University of Liverpool.

1906.
Aktien-Buchdruckerei Zürich
Stampfenbachstr. 13.

Die elektrischen Eigenschaften

des

Porzellans.

INAUGURAL-DISSERTATION

zur

Erlangung der philosophischen Doktorwürde

vorgelegt der

PHILOSOPHISCHEN FAKULTÄT

der

UNIVERSITÄT BASEL

von

Harold Firth Haworth. M. Sc. (Vict), B. Eng (L'pool)
1851 Exhibition Scholar of the University of Liverpool.

1906.
Aktien-Buchdruckerei Zürich
Stampfenbachstr. 13.

Genehmigt von der mathematisch-naturwissenschaftlichen Fakultät auf Antrag der Herren Proff. Drr Hagenbach-Bischoff und Veillon.

Basel, den 3. Mai 1906.

Prof. K. VonderMühll,
Dekan.

Dedicated in love to my

father and mother.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546418_0134

Die folgenden Untersuchungen wurden auf Anregung und unter Leitung von

Herrn Prof. **Dr. H. F. Weber**

im Eidgenössischen Physikgebäude von Oktober 1904 bis Frühjahr 1906 ausgeführt.

Für die Zuvorkommenheit, mit welcher mir Herr Prof. *Dr. H. F. Weber* dabei mit Rat und Tat behülflich war, erlaube ich mir, Ihm meinen wärmsten Dank auszusprechen.

Einleitung.

In dieser Arbeit sollen die elektrischen Eigenschaften des Porzellans untersucht werden. Zu diesem Zwecke wurden folgende Untersuchungen vorgenommen.

a) Capacitäts-Messungen.

1. Elektrische Ladung eines Porzellan-Condensators in Funktion der Zeit der Ladung.
2. Elektrische Ladung desselben in Funktion der Potentialdifferenz.
3. Elektrische Ladung in Abhängigkeit von der Temperatur.
4. Elektrische Ladung bei cyklischer Veränderung der Potentialdifferenz.

b) Leitfähigkeits-Messungen.

5. Leitfähigkeit in Funktion des Potentials.
6. Leitfähigkeit in Funktion der Zeit bei geschlossenem Stromkreis.
7. Leitfähigkeit in Funktion der Temperatur.

*

Beschreibung der Porzellan-Platten und der Instrumente.

Material. Das zu den Versuchen verwendete Porzellan stammte aus der Fabrik Hermsdorf (Sachsen-Altenburg) und hatte die Form von ebenen Scheiben, deren Durchmesser 20,5 cm und Dicke 0,55 cm waren.

Beide Seiten der Scheiben waren, bis auf einen kleinen Rand, mit einer kreisförmigen Staniol-Elektrode bedeckt, die mit einer sehr dünnen Schicht von Paraffin an derselben fixirt war.

Instrumente. Galvanometer. Die Ströme wurden mit einem Galvanometer von *Siemens & Halske* gemessen. Dasselbe besass vier Spulen von je 1595 Ω, 1660 Ω, 1643 Ω, und 1623 Ω Widerstand. Die Empfindlichkeit des Galvanometers konnte durch zwei coaxial aufgestellte Magnete beliebig verändert werden.

Die Ablenkungen wurden bis auf $^1/_{10}$ mm genau abgelesen mittelst Skala und Fernrohr.

Die Aichung des Galvanometers, um die Capacität unseres Porzellan Condensators zu untersuchen,

geschah mit einem Clark Element und einer bekannten Capicität. Für die Leitfähigkeitsmessungen geschah die Aichung des Galvanometers so, dass wir durch dasselbe einen bekannten Strom schickten.

Batterie. Für Spannungen unter 200 Volt wurde eine Spannungs-Batterie von 100 Zellen gebraucht. Um grössere Spannungen verwenden zu können, wurden 2500 kleine Hochspannungs-Blei-Akkumulatoren benutzt. Die kleinen Zellen waren auf Holzleisten und Glasplatten mit Paraffin befestigt.

Elektrische Ladung eines Porzellan-Condensators in Funktion der Zeit.

Zu dieser Untersuchung wurde folgende Anordnung getroffen. Zwei Porzellan-Condensatoren wurden im Stromkreis vom Galvanometer und Batterie parallel geschaltet.

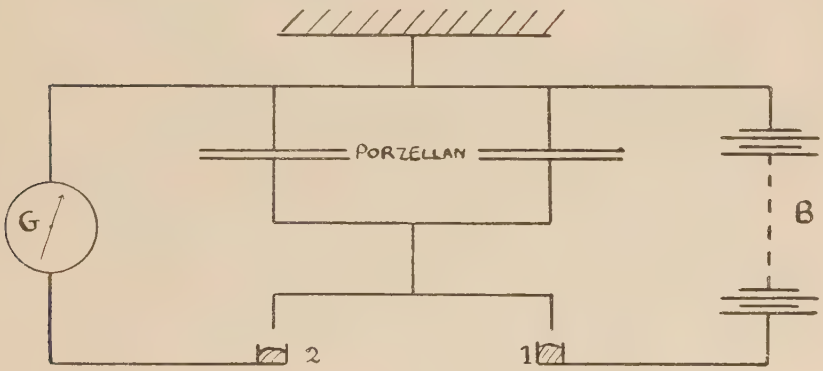


FIG 1

Mittelst einer Wippe wurden, wenn diese sich in Stellung I befand, die Condensatoren geladen. Durch umkippen der Wippe in Stellung II wurde die Entladung durch das Galvanometer vorgenommen. Die

einzelnen Näpfe der Wippe waren von einander möglichst gut isoliert, damit beim Entladen ein Strom von der Batterie her vermieden wurde. Um möglichst grosse Genauigkeit bei diesem Versuche zu erhalten, wurde derselbe folgendermassen ausgeführt :

1. Der Condensator wurde für die Zeitdauer einer Sekunde geladen, dann entladen und der Ausschlag am Galvanometer abgelesen.
2. Der Condensator wurde während zwei Sekunden geladen, dann entladen und der Ausschlag notiert.

Es wurden ungefähr 70 Ablesungen für die Ladungszeit einer Sekunde und 70 solche für die Ladungszeit zwei Sekunden gemacht und zwar abwechslungsweise: eine Ablesung für eine Sekunde und dann eine solche für zwei Sekunden, und so weiter. Der Unterschied zwischen dem Mittelwert der Ablesungen für die Ladungszeit zwei Sekunden und demjenigen der Ablesungen für die Ladungszeit einer Sekunde ergibt den prozentualischen Zuwachs der Ladung, wenn die Ladungszeit von einer Sekunde zu zwei gewachsen ist.

Für eine bestimmte Spannung haben wir zwei Punkte für die Ladungsmenge in Funktion der Zeit.

Der Condensator wurde sodann während zwei und drei Sekunden geladen und dies ergab den prozentualischen Zuwachs der Ladung zwischen zwei und drei Sekunden.

Bei diesem Versuche wurde angenommen, und in der Folge bewiesen, dass die Potential Ladungs-Kurve eine gerade Linie ist.

Da die Spannung von Tag zu Tag verschieden war, so kann aus der erwähnten Tatsache die Ladung für eine bestimmte Zeit (z. B. 3 Sekunden) auf die ursprüngliche Spannung reduziert werden, wenn man die erhaltene Ablenkung für die Ladungszeit 2 Sekunden multipliziert mit (100 + den prozentualischen Zuwachs der Ladung zwischen 2 und 3 Sekunden) und durch 100 dividiert.

Bedeuten:

L = Ladungsmenge bei p Volt für 1 Sekunde

d_1 = prozentualischer Zuwachs zwischen einer und zwei Sekunden

dann ist:

$\frac{L\ (100 + d_1)}{100}$ = Ladung für zwei Sekunden bei p Volt

ist d_2 = prozentualischer Zuwachs zwischen 2 und 3 Sekunden so ist $\frac{L\ (100 + d_1)\ (100 + d_2)}{10^4}$

Ladung für 3 Sekunden bei p Volt u. s. w.

Bei dieser Methode geht man Schritt für Schritt weiter, und die Curve wird festgesetzt durch Bestimmung des prozentualischen Zuwachses zwischen 3 u. 4, 4 u. 5, 5 u. 6, 6 u. 7 - Sekunden u. s. w.

Der Zeitunterschied wurde so variirt, dass der prozentualische Zuwachs möglichst genau bestimmt werden konnte. Bei einer Ladungszeit über 90 Sekunden konnten kleinere Zuwächse bemerkt werden, die wahrscheinlich von den Temperaturschwankungen herrührten. Praktisch ist der Porzellan Condensator geladen nach einer Minute, wenn wir als Ladungsmenge den ersten Ausschlag am Galvanometer nach dieser Zeit betrachten. Wir bezeichnen diese Capacität als die einfache Capacität des Condensators. Die erhaltenen Resultate sind in Tabelle I enthalten und durch Curve I graphisch dargestellt.

In der Tabelle sollen bedeuten:

a = grösste Ladungszeit für welche die Punkte zu berechnen sind.

b = kleinste Ladungszeit für welche die Ablenkungen bekannt sind, und von welchen die prozentualischen Zuwächse der Ladungen bis (a) zu berechnen sind.

c = prozentualischer Zuwachs der Ladung von (a) bis (b) Sekunden. Angenommen, dass die Ladung nach 30 Minuten 100 % ist.

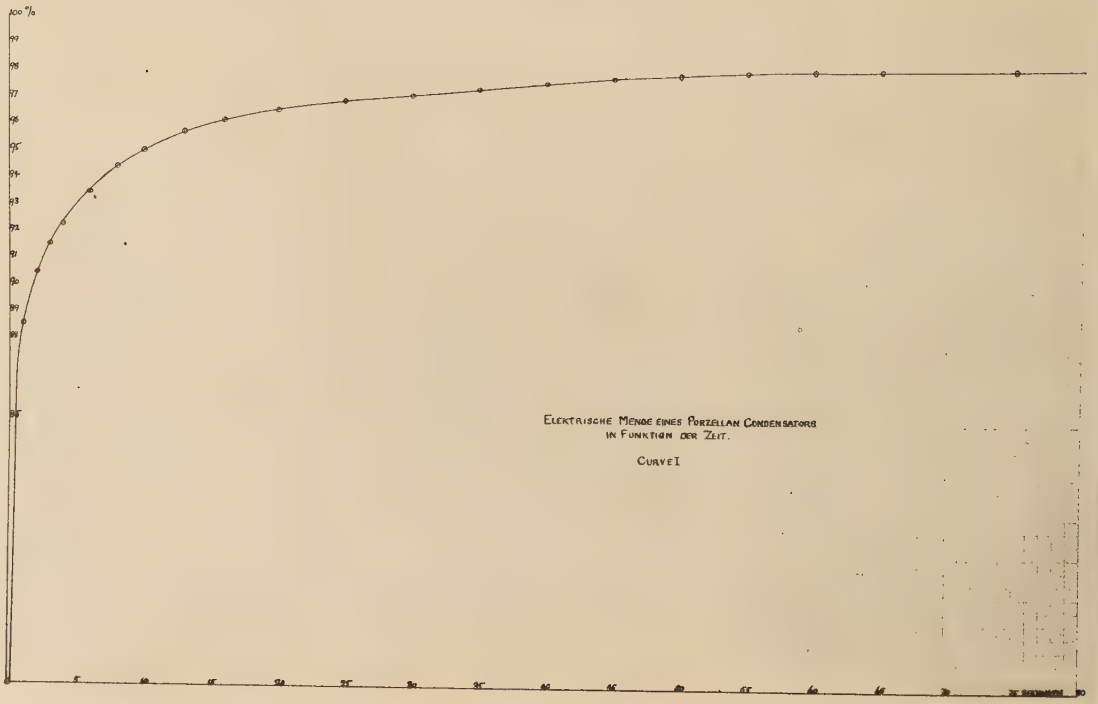
d = Prozente der Ladung in (a) Sekunden.

Für die Ladungszeiten 20 und 30 Minuten waren die Ausschläge unter sich etwas verschieden wegen

des Temperaturunterschiedes. Es wurde deshalb die Temperatur in der Nähe des Condensators beobachtet und die Unterschiede der Ausschläge auf 1° Temperaturunterschied reduziert. Für 1° Temperaturdifferenz variirten die Ausschläge um uugefähr 1.9 %.

Tabelle I (Curve I).

a	b	c	d
1	0	—	88.58
2	1	2.164	90.50
3	2	1.153	91.54
4	3	0.817	92.29
6	4	1.255	93.44
8	6	1.072	94.45
10	8	0.666	95.08
13	10	0.744	95.79
16	13	0.445	96.21
20	16	0.397	96.60
25	20	0.373	96.95
30	20	0.578	97.15
35	25	0.469	97.41
40	30	0.481	97.62
45	30	0.689	97.82
50	30	0.830	97.96
55	30	0.941	98.07
60	30	0.985	98.11
65	30	1.010	98.13
75	30	1.141	98.26
90	30	1.141	98.26
600	90	0.425	98.68
1200	90	0.900	99.57
1800	90	1.340	100.00



Elektrische Menge eines Porzellan Condensators
in Funktion der Zeit.

Curve I

Elektrische Ladung in Funktion der Potentialdifferenz.

Der Condensator wurde nur für eine halbe Minute geladen und entladen bei gleicher Versuchsanordnung. Es wurde mit einer Spannung von 20 Volt angefangen und von 20 zu 20 Volt weiter bis 200 Volt. Für jede Spannung wurden 40 Ablesungen genommen, und dabei wurde der Einfluss der Temperatur wie in dem vorhergehenden Versuche schätzungsweise berücksichtigt. Praktisch liegen die erhaltenen Punkte bis 200 Volt auf einer Geraden. Einige kleine Unterschiede rühren von dem Temperaturunterschiede her und zwar so, dass die Ladung in gleichem Sinne wie die Temperatur variirt.

Die erhaltenen Resultate sind in Tabelle II zusammengestellt und auf Curve II graphisch dargestellt.

Die Curve wurde aufgenommen für Spannungen von 200—1200 Volt und zwar wurden dazu die Hochspannungsakkumulatoren gebraucht. Da die Spannung dieser mit der Zeit rasch abfiel, so wurde für je einen

Punkt nur 5 Ablesungen am Galvanometer und gleichzeitig auch am Voltmeter genommen.

Die erhaltenen Resultate sind in Tabelle II zusammengestellt. Da die erhaltenen Punkte für Spannungen von 0—1200 Volt auf einer geraden Linie liegen, ist die Ladung der Spannung direkt proportional.

Tabelle II (Curve II).

Volt	mm	Volt	mm	mm mit
4 Galvanometer Spulen		3 Galvanometer Spulen		4 Galvm. Spulen
20.06	13.67	528.9	254.9	365
41.60	27.57	575.2	274.9	394
61.90	41.15	622.8	296.1	425
82.20	56.11	657.4	311.4	445
102.8	71.01	688.6	325.6	466
123.1	83.52	717.0	338.2	485
144.0	98.91	744.8	349.5	500
164.6	113.7	799.6	374.2	536
185.5	124.2			
206.0	139.9			
		2 Galvanometer Spulen		
		800.0	227.2	541
		850.0	242.0	575
168.5	113.4	893.8	255.2	607
182.5	122.2	943.2	269.0	640
193.2	134.1	990.4	282.0	671
269.5	184.2	1031.6	291.9	695
281.5	191.0	1061.8	303.3	721
299.5	199.5	1089.0	311.2	740
351.5	238.1	1107.6	315.7	750
357.0	240.5	1122.6	320.0	761
385.5	561.8	1160.0	330.6	787

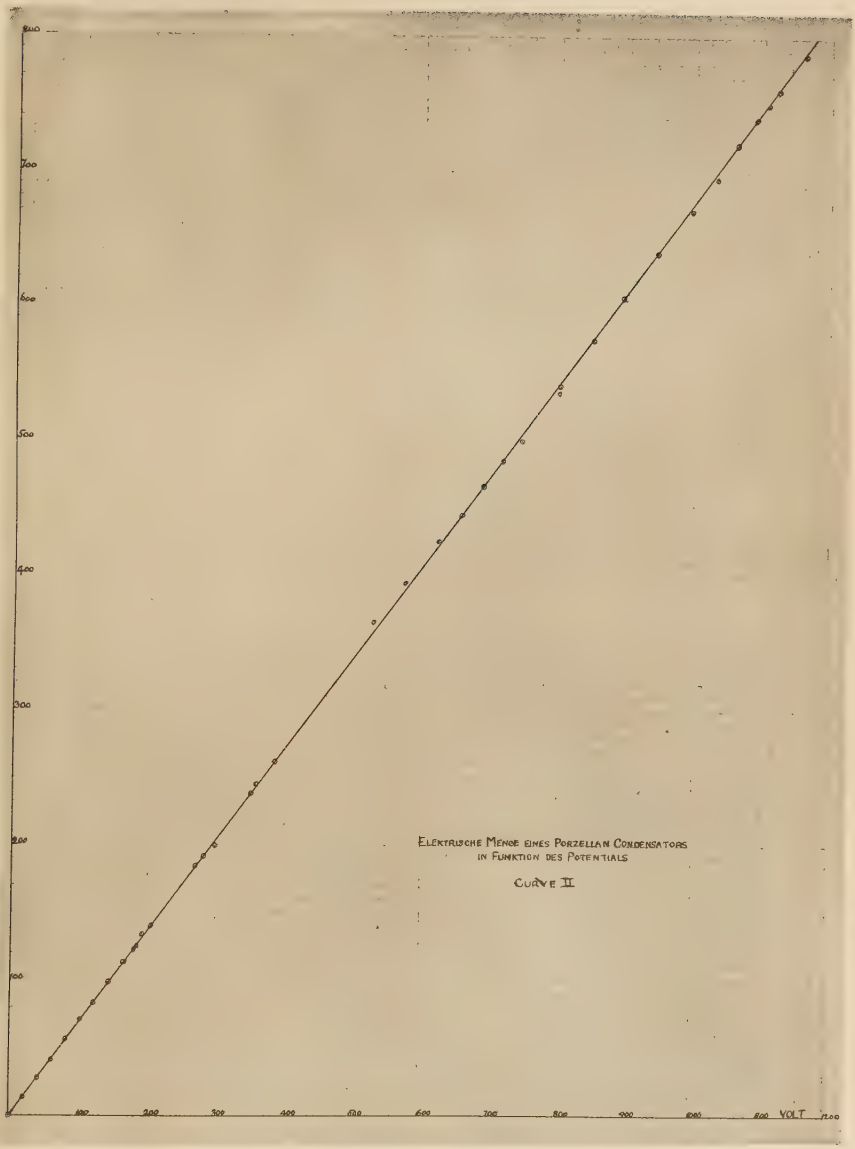
Capacität eines Porzellan-Condensators in Funktion der Temperatur.

Im ersten Falle wurden 3 Porzellan-Scheiben unter sich parallel verbunden und in ein Kupfer-Gefäss gestellt, das selbst wieder in einem solchen sich befand.

Ein Thermometer, in $^1/_{10}{}^0$ graduirt, wurde in das innere Gefäss gestellt. Der Condensator wurde wie früher geladen und entladen, dabei wurde gleichzeitig Temperatur, Spannung und Ausschläge am Galvanometer gemessen. Das Galvanometer wurde auf bekannte Weise von Zeit zu Zeit geaicht.

Es wurde zuerst ein Versuch bei Zimmertemperatur und dann einen bei niedriger Temperatur ausgeführt. Infolge Feuchtigkeit der Luft in der sich der Condensator befand, waren die Ausschläge am Galvanometer immer von einander verschieden, so dass es nötig war, den Condensator in trockener Luft zu halten. Dies wurde erreicht durch hineinstellen von Phosphorsäure in das Gefäss.

Da verschiedene Drahtlängen nötig waren, wenn


800
700
600
500
400
300
200
100
0
100
200
300
400
500
600
700
800
900
1000
1100
VOLT
Elektrische Menge eines Porzellan Condensators
in Funktion des Potentials
Curve II

der Condensator sich im Zimmer oder draussen befand, so musste die Capacität der Leitungen jedesmal geprüft werden. Die Unterschiede der Temperaturen bewegten sich zwischen 0° und 18°. Die Resultate sind in Tabelle III gegeben.

Tabelle III.

Temperatur °C	Capacität mf.
0.38	0.001117
3.44	0.001157
5.93	0.001161
13.17	0.001229
16.91	0.001305
18.19	0.001327

Um höhere Temperaturen zu erzielen und diese bequem zu kontrollieren wurde ein neuer Apparat gebaut.

Derselbe bestand aus 2 viereckigen Platten aus elektrolytischem Kupfer, deren eine Seite 25 cm und deren Dicke 1 cm betrug.

Die beiden Platten wurden durch vier Kupferstücke in 4 cm Abstand von einander gehalten und diese bildeten die Umrisse des Gefässes.

In zwei gegenüberliegenden Seiten des Gefässes wurde je ein Kupferrohr gelötet, die einer Gasflamme

ausgesetzt werden konnten, so dass die Wärme sich in allen Teilen des Gefässes bewegte. Wegen der hohen Leitfähigkeit der elektrolytischen Kupferplatten war der Raum zwischen ihnen ein Raum gleichmässiger Temperatur. In diesen Raum wurde nun unser Condensator, bestehend aus 3 Porzellanplatten mit einem Thermometer, gestellt. Das ganze wurde, damit keine Wärme verloren ging, mit Asbest umhüllt.

Der Versuch wurde in derselben Weise durchgeführt wie früher und die Resultate sind in Tabelle IV zusammengestellt.

Tabelle IV.

Temperatur °C	Capacität mf.
15.25	0.001388
17.07	0.001441
22.60	0.001520
25.07	0.001585
27.17	0.001634
28.15	0.001661
30.54	0.001744
32.14	0.001761
34.68	0.001837
36.78	0.001903

Die Resultate waren nicht so zuverlässig wie erwartet werden konnte. Dies war verschiedenen Ursachen zuzuschreiben.

1. Dass das Thermometer nicht die richtige Temperatur des Porzellans angab.

2. Die Temperatur des Porzellans nicht ganz konstant war.

3. Wegen Feuchtigkeit des Raumes.

4. Der Condensator scheint sich ähnlich wie ein Akkumulator zu verhalten, da er nach dem Entladen, bei geschlossenem Stromkreis während längerer Zeit einen ziemlich grossen Strom gibt. Dies scheint einen grossen Einfluss auf das Resultat zu haben, so dass es ratsam erschien, die Temperaturfrage vorläufig zu verlassen und die Leitfähigkeit des Porzellans zu untersuchen.

Leitfähigkeit des Porzellans in Funktion des Potentials.

Messungsmethode. Von einer Hochspannungsbatterie wurde ein Strom durch eine Porzellanplatte geschickt und dieser mit dem Galvanometer gemessen. Bei scheinbar konstantem Ausschlag wurde abgelesen. Wegen Verschiebung der Ruhelage des Galvanometers, konnte aber diese Messungsmethode nicht angewendet werden. Es wurde dann zur Messung der Leitfähigkeit folgende Methode angewendet.

Man schickte den Strom durch die Porzellanplatte während einer Minute bei kurz geschlossenem Galvanometer. Nach dieser Zeit wurde der Kurzschluss des Galvanometers mittelst einer Wippe geöffnet und der erste Ausschlag abgelesen.

Diese Zeit wurde gewählt, weil, wie wir früher gesehen haben, das Porzellan in dieser Zeit geladen war; der gemessene Strom war nur Leitfähigkeitsstrom und nicht gleichzeitig Ladung und Leitfähigkeitsstrom. Die Kurzschlusswippe war so nahe als möglich dem Galvanometer gestellt, um kurze Zuleitungsdrähte zu haben.

Die Wippe bestand aus einem Kupferstab in einer Glasröhre die auf Paraffin isoliert war. Die Enden des Kupferstabes tauchten in zwei Quecksilbernäpfe die in Verbindung waren mit den Klemmen des Galvanometers und so den Kurzschluss desselben bewerkstelligten. Durch eine passende Vorrichtung konnte vom Platz aus der Kurzschluss aufgehoben werden und der erste Ausschlag am Galvanometer notirt werden.

Die Aichung des Galvanometers für den ersten Ausschlag geschah nach Figur 2.

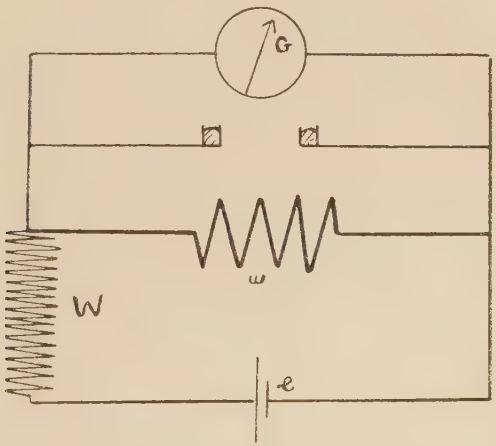


FIG 2

Durch Aenderung des Wiederstandes w erhalten wir die Aichungskurve des Galvanometers in Funktion von w. Diese Curve wurde mit denselben Coor-

dinaten aufgezeichnet wie die Stromcurve in Funktion der Spannung in unserem Versuche, so dass für einen bestimmten Ausschlag aus der Aichung der entsprechende Wiederstand w entnommen werden konnte.

Der Strom durch das Galvanometer lässt sich dann durch folgende Formel darstellen:

$$i = \frac{ew}{(W + w)\,G} = \frac{ew}{WG}$$

wobei e = elektromotorische Kraft des Clark-Elements

und G = Galvanometerwiderstand.

Es soll bedeuten:

O = mittlere Oberfläche der beiden Staniol-Elektroden

d = mittlere Dicke der Porzellanplatte

x = Galvanometerausschlag

p = Spannung

w = Widerstand für die Ablenkung x

K = Leitfähigkeit des Porzellans

dann ist

$$K = \frac{i\,d}{p\,O} = \frac{e.w.d.}{W.G.p.O.}$$

Da die Spannung der verwendeten Hochspannungsbatterie mit der Zeit abnahm und die Potentialänderungen bei unserem Versuche in gleichen Zeiten geschehen musste, was uns nicht erlaubte, für jeden

Punkt die Spannung zu messen, so wurde so verfahren, dass die Spannungen am Anfang und am Ende des Versuches gemessen wurden, wobei die Zeit zwischen den einzelnen Ablesungen möglichst genau beobachtet wurde und aus diesen Beobachtungen die Spannung für die einzelnen Punkte berechnet, nach nachstehender Formel. Als Erläuterung zur verwendeten Methode, gelte aus Tabelle 5, folgendes Beispiel.

Es sei die Spannung vt (Col. 7) zur Zeit t (Col. 9) gewünscht. Am Anfang des Versuches wurde die Spannung von je 50 Akkumulatoren gemessen mit einem Kelvin multicellular Voltmeter, wobei zwischen jeder Messung ein gleiches Zeitintervall bestand.

Tv = Nötige Zeit zur Messung von (a) Reihen

$\frac{Tv}{a}$ = „ „ „ „ einer Reihe

T_E = „ „ für den Leitfähigkeitsversuch

Colonne 9 gibt uns an die Zeit (t), bei welcher die verschiedenen Ablesungen gemacht wurden.

Nach dem Versuche wurde nun die Spannung unserer Akkumulatorenreihen in der Zeit Tv gemessen, was uns Colonne 4 angibt.

Die gesamte Spannung einiger Reihen ist nahezu, die Summe der Spannungen der einzelnen Reihen in Col. 3, für den Anfang und in Col. 5 für das Ende des Versuches wiedergegeben.

Der Unterschied (d) in Col. 6 von Col. 3 — Col. 5, ist ungefähr der Abfall der Spannung während der ersten und zweiten Messung. Angenommen, dass die Spannungskurve unserer Batterie in Funktion der Zeit eine gerade Linie ist, (eine rohe Annahme die aber genau genug ist, wenn der Spannungsabfall kein grosser ist), dann lässt sich nach folgender Formel die Spannung für eine bestimmte Zeit (t) berechnen.

Tabelle V.

Anzahl der Accumulatoren Reihen = n	Spannung der einzelnen Reihen am Anfang	V	Spannung der einzelnen Reihen am Ende	Spannung der Reihen zusammen (1 + 2 + 3 . . .)	Unterschiede der Spannungen am Anfang und am Ende (col 3 − col 5) = d	Berechnete Spannung Vt	Galvanometer Ausschläge	Zeit der Ablesungen A	Zeit Korrektion Vl/a (n − 1)
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	550	550	543	543	7	549	11.5	5	0.0
2	544	1094	514	1057	37	1082	26.5	8	0.4
3	548	1642	524	1581	61	1619	38.0	10	0.8
4	544	2186	525	2106	80	2150	51.0	12	1.2
5	544	2730	527	2633	97	2680	63.0	14	1.6
6	400	3130	350	2983	147	3044	71.0	16	2.0
7	523	3653	475	3458	195	3526	82.0	18	2.4
8	422	4075	365	3823	252	3995	90.0	20	2.8
9	490	4565	400	4223	342	4297	100.3	22	3.2

$$vt = v_1 - \left\{ \frac{t - (n-1)\frac{Tv}{a}}{T_E + Tv.} \right\} d$$

wobei n die Anzahl der Reihen Accumulatoren bedeutet (Col. 1) V_1 = Anfang Spannung von n Reihen (Col. 3).

Die nötige Zeit um die Spannungen der Reihen zu lesen (Col. 2 und 4) betrug $3^1/_2$ Minute = Tv, die des Versuches (Col. 8) $20^1/_2$ Minute = T_E, somit $T_E + Tv = 24$ Minuten. Somit $\frac{T_U}{a} = \frac{3.5}{9} = 0.4$

Es war z. B. die Spannung für Punkt 5 unseres Versuches

$$V_5 = V_1 - \left\{ \frac{t - (w-1)\frac{Tv}{a}}{T_E + Tv} \right\}$$

$$= 2730 - \left\{ \frac{14 - 1.6}{24} \right\} 97$$

$V_5 = 2680$ Volt.

Es wurden nun die Ausschläge am Galvanometer in Funktion der so berechneten Spannungen gezeichnet. Aus dieser und der Aichungscurve des Galvanometers liess sich dann der Widerstand w entnehmen und somit die Leitfähigkeit berechnen.

Bei diesem ersten Versuche war die Porzellanplatte auf Porzellanfüsse in ein Glasgefäss gestellt,

welches auf Porzellan-Isolatoren sich befand. Das Glasgefäss war mit einem ebenen Glasdeckel hermetisch geschlossen. Der obere Kontakt der Platte mit der Zuleitung geschah durch ein Messingstück, die Zuleitung selbst war in einem Glasrohr, das oben mit Paraffin zugemacht war, durch den Glasdeckel geführt. Die andere Zuleitung kam durch die Seite des Glasgefässes zum untern Kontakt der Platte. Zum Trocknen der Luft im Gefäss wurde Phosphorsäure verwendet.

Das Galvanometer stand auf Gummizylinder, die selbst auf drei Paraffinplatten isoliert waren. Die erhaltenen Curven sind concav gegen die Abscissenachse, (Teil A Curve III). Diese Curven decken sich aber von Tag zu Tag nicht.

In Tabelle 6 sind die erhaltenen Resultate zusammengestellt, bei Gebrauch der Platten A, B und C. Die Leitfähigkeiten bei 500, 1000, 1500, 2000 und 2500 Volt wurden aus den Curven entnommen. Aus der Tabelle entnehmen wir, das die Veränderung der Leitfähigkeit mit der Spannung stark variirt, und zwar so, dass sie mit grösser werdender Spannung kleiner wird. Die täglichen Veränderungen waren auch sehr gross und lassen sich nicht etwa auf Temperaturveränderungen zurückführen.

Diese Versuche wurden nun mit zwei anderen Platten D und E wiederholt, aber die Spannung wurde

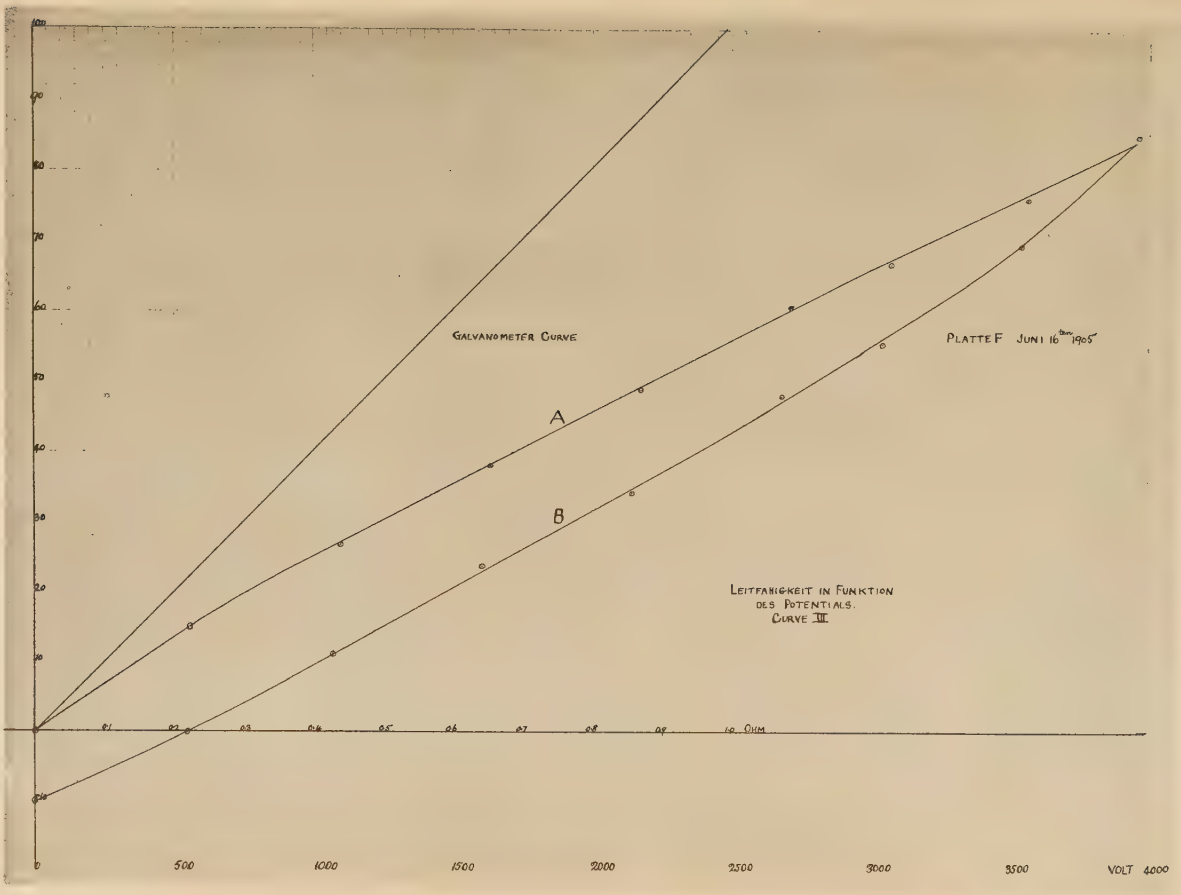

GALVANOMETER CURVE
PLATTE F JUNI 16ten 1905
A
B
LEITFAHIGKEIT IN FUNKTION
DES POTENTIALS.
CURVE III
0.1
0.2
0.3
0.4
0.5
0.6
0.7
0.8
0.9
1.0 OHM
0
500
1000
1500
2000
2500
3000
3500
VOLT 4000

Tabelle VI.

Leitfähigkeit des Porzellans = 0, a $\times 10^{-13}$

K 500	K 1000	K 1500	K 2000	K 2500	T °C	Datum	Platte
0.1994	0.1634	0.1499	0.1424	0.1349	16.3	Mai 17. 05	B
0.1919	0.1671	0.1535	0.1533	0.1372	17.0	„ 17 „	
0.1618	0.1386	0.1008	0.1001	0.1101	16.3	„ 18 „	
0 1806	0.1476	0.1311	0.1231	0.1173	16.2	„ 19 „	
0.1776	0.1488	0 1334	0.1255	0.1210	16.3	„ 20 „	
0.1567	0.1387	0 1267	0.1189	0.1106	15.6	„ 22 „	
0.0905	0.0866	0.0820	0.0784	0.0759	15.6	„ 22 „	A
0.0905	0.0843	0 0793	0.0761	0.0723	16.3	„ 23 „	
0.0769	0.0693	0.0668	0.0648	0.0612	15.0	„ 23 „	
0.1025	0.0916	0.0814	0.0746	0.0682	15.5	„ 24 „	
0.1342	0.1188	0.1128	0.1079	0.1060	19.5	„ 31 „	C
0.1636	0.1420	0.1312	0.1254	0.1210	19.5	Juni 2 „	
0.1478	0.1272	0.1185	0.1129	0.1090	20.2	„ 3 „	

von Punkt zu Punkt um 550 Volt vergrössert bis 4000 Volt.

Einige von diesen Resultaten sind in Tabelle 7 wiedergegeben, und es ist daraus zu ersehen, dass sie mit denjenigen in Tabelle 6 übereinstimmen. Eine andere Platte F wurde dann genommen und mit dieser eine Curve aufgenommen, bei aufsteigender und abfallender Spannung.

Tabelle VII.

Leitfähigkeit = 0. a $\times 10^{-13}$

Datum	K 500 v	K 1000 v	K 1500 v	K 2000 v	K 2500 v	K 3000 v	K 3500 v	K 4000 v	T °C	Platte
Juni 6. 05	0.2180	0.2200	0.2221	0.2200	0.2098	0.2125	0.2080	0.2030	21.0	D
„ 6 „	0.2330	0.2221	0.2120	0.2038	0.1983	0.1932	0.1896	0.1858	21.0	
„ 7 „	0.1910	0.1850	0.1821	0.1776	0.1710	0.1670	0.1642	0.1632	19.5	
„ 7 „	0.2240	0.2015	0.1949	0.1867	0.1813	0.1782	0.1748	0.1722	19.5	
„ 8 „	0.1892	0.1880	0.1870	0.1835	0.1800	0.1770	0.1730	0.1658	20.0	
„ 8 „	0.1850	0.1835	0.1811	0.1746	0.1716	0.1679	0.1658	0.1632	20.0	
„ 9 „	0.1671	0.1671	0.1671	0.1626	0.1581	0.1551	0.1530	0.1515	19.0	
„ 13 „	0.1731	0.1662	0.1640	0.1603	0.1530	0.1470	0.1430	0.1395	19.0	
„ 14 „	0.1970	0.1850	0.1820	0.1760	0.1708	0.1655	0.1642	0.1610	18.9	E
„ 14 „	0.1880	0.1835	0.1775	0.1738	0.1710	0.1678	0.1640	0.1618	19.0	
„ 15 „	0.2000	0.1924	0.1870	0.1820	0.1775	0.1730	0.1685	0.1650	20.5	
„ 15 „	0.1730	0.1730	0.1722	0.1722	0.1722	0.1710	0.1685	0.1655	20.7	
„ 15 „	0.1852	0.1840	0.1795	0.1758	0.1712	0.1682	0.1660	0.1640	21.0	F
	0.0000	0.0583	0.0938	0.1114	0.1245	0.1324	0.1421	0.1490		
„ 16 „	0.2035	0.1870	0.1765	0.1705	0.1670	0.1640	0.1609	0.1585	21.0	
	—	0.0717	0.1030	0.1168	0.1271	0.1370	0.1450			

Die erhaltenen Resultate waren ganz verschieden, die absteigende Curve ist viel steiler und geht nicht durch den Anfangspunkt. Bei der Spannung Null schneidet die Curve die Ordinatenachse in negativer Richtung.

Die ausgerechneten Resultate dieser Curven sind in Tabelle 7 zusammengestellt und eine dieser Curven aufgezeichnet (Curve 3).

Die Spannung wurde nun cyklisch verändert, so dass wir von 0 auf 4000 Volt hinaufgingen, dann herunter bis — 4000 Volt und wieder hinauf bis + 4000 Volt.

Die erhaltene Curve war eine Schleife, ähnlich wie die Hysteresis-Schleife für Eisen aber in umgekehrter Richtung gehend wie letztere, also in der Richtung des Uhrzeigers (Curve 4). Die erhaltenen Daten sind in Tabelle 8 wiedergegeben. Es wurden nun an verschiedenen Tagen solche Curven aufgenommen und diese waren untereinander sehr ähnlich.

Es wurden nun ohne Unterbrechung drei Hysteresis-Schleifen nach einander gemacht und zwar für Spannungen ± 4000 Volt, ± 3000 Volt, ± 2000 Volt und später für ± 200 Volt. Die Resultate sind in Tabelle 9, 10 und 11 wiedergegeben und aus den dazu entsprechenden Curven kann gesehen werden, dass die Hysteresis periodisch ist.

Die mittleren Flächen der Curven 5, 6 und 7

Tabelle VIII.

Platte F. 19. Juni 1905.

Volt	Ausschlag	Volt	Ausschlag
+ 414	+ 9.1	— 2519	— 69.1
956	25.4	2877	72.2
1496	39.0	3335	84.2
2036	56.0	3714	90.0
2578	65.0	3315	75.8
2993	74.0	2849	60.0
3497	86.5	2497	51.0
3917	93.0	1962	35.0
3478	75.0	1427	22.0
2965	58.1	897	— 9.0
2557	49.2	— 401	+ 3.0
2012	34.0	0	10.2
1470	21.0	+ 400	18.8
931	+ 8.0	888	31.0
+ 408	— 4.0	1410	43.0
0	— 12.0	1936	55.0
— 407	21.0	2459	63.2
922	33.0	2761	68.1
1453	45.8	3172	79.0
— 1986	— 56.1	3512	84.8
		3868	93.0

wurden mit einem Planimeter gemessen. Die Grösse dieser einzelnen Flächen sind:

$$\pm\ 4000 \text{ Volt} = 80{,}49 \text{ cm}^2$$
$$\pm\ 3000 \text{ „} = 53{,}33 \text{ „}$$
$$\pm\ 2000 \text{ „} = 26{,}94 \text{ „}$$
$$h_{4000} : h_{3000} : h_{2000} = 3 : 2 : 1$$

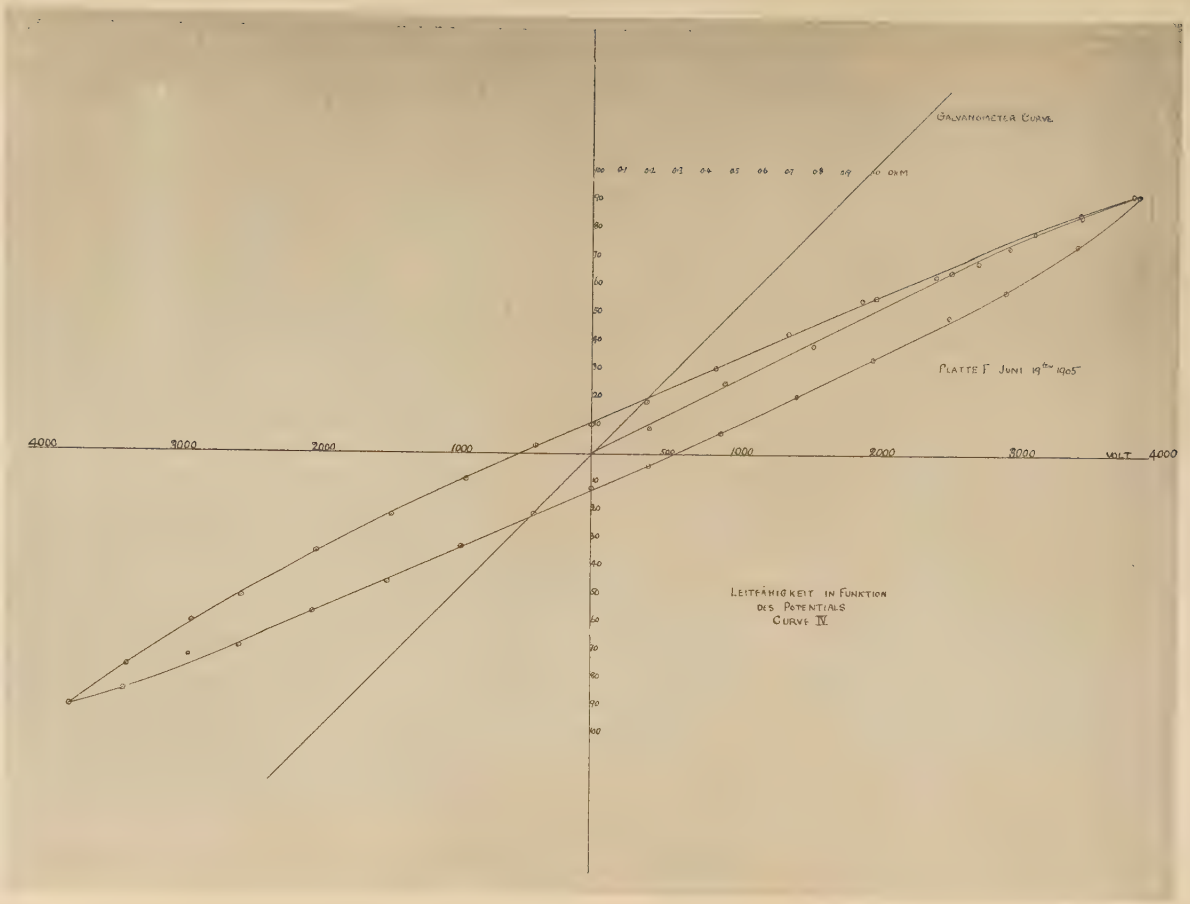

Galvanometer Curve
00 01 02 03 04 05 06 07 08 09 10 ohm
90
80
70
60
50
40
30
20
10
Platte I Juni 19ten 1905
4000
3000
2000
1000
500
1000
2000
3000
Volt
4000
10
20
30
40
50
60
70
80
90
100
Leitfähigkeit in Funktion
des Potentials
Curve IV.

Tabelle IX.

Drei Hysteresis Schleife ± 4000 Volt. Curve V. Platte F. 20. Juni 05.

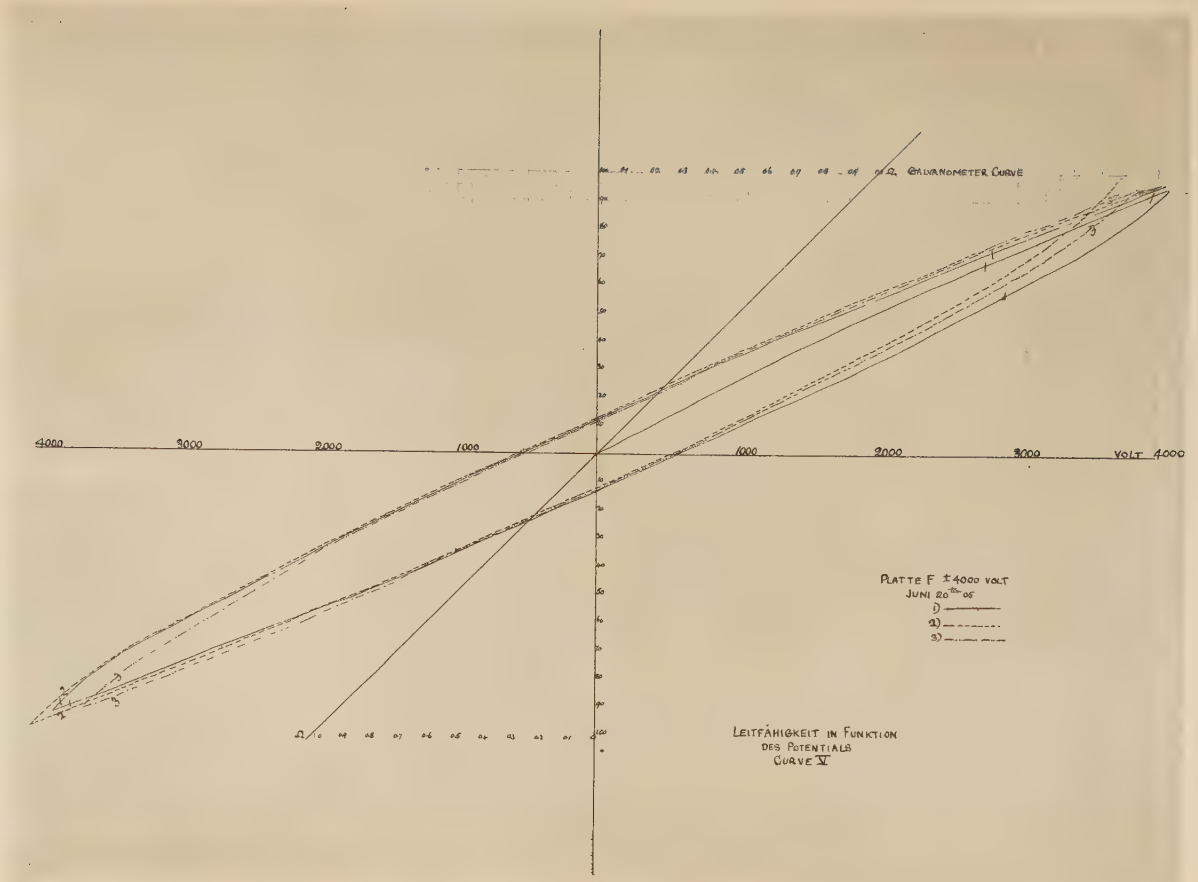
Volt	Aus schlag	Volt	Aus-schlag	Volt	Aus-schlag	Volt	Aus-schlag	Volt	Aus-schlag	Volt	Aus-schlag
(1) + 556	+ 13.2	— 1597	— 48.2	+ 2604	+ 68.0	3109	— 79.0	+ 3853	+ 95.4	— 3293	— 76.4
1098	29.2	2131	60.0	2899	72.5	3607	89.0	(3) 3440	78 0	2838	62.0
1643	42.2	2666	70.0	3346	82.5	4038	99.8	2958	62.0	2511	52.1
2185	54.5	3022	75.0	3690	88.0	3590	79.2	2580	52.0	2006	36.6
2728	67.0	3500	88.0	4029	96.8	3079	65.3	2063	37.5	1486	22.9
3143	75.0	3881	94.0	(2) 3738	99.0	2650	52.8	1534	24.0	974	— 11.0
3656	86.8	3480	78.2	3199	74.2	2119	38.2	1016	11.0	— 526	0.0
4076	95.0	2991	61.0	2719	56.8	1581	24.5	+ 534	+ 1 0	0	+ 11.4
3637	77.0	2643	53.0	2175	42.0	1046	— 12.0	0	— 12.0	+ 525	24 0
3113	62.0	2105	37.8	1628	28.2	— 542	0.0	— 535	24.8	964	34.0
2705	51.0	1570	24.2	1082	13.4	0	+ 12.8	1006	35.0	1469	45.0
2159	36.6	1036	— 11.1	+ 551	+ 1.0	+ 541	26.5	1516	48.3	1977	58.0
1615	23.0	— 535	+ 0.5	0	— 11.8	1037	37.2	2034	59.2	2467	68.2
1072	+ 11.2	0	+ 11.8	— 550	— 24 8	1563	48.8	2536	70.0	2748	73.1
+ 546	— 1.0	+ 523	24.2	1072	36.8	2090	59.5	2868	77.4	3160	81.0
0	— 14.2	1026	35.2	1610	49.0	2605	70.0	3310	86.8	3486	88.8
— 545	25.2	1552	46.8	2146	60.0	2988	76.0	+ 3668	92 0	3863	95 4
— 1062	— 37.0	+ 2078	+ 58.0	— 2675	— 71.0	+ 3458	+ 86.2				

Tabelle X.

Zwei Hysteresis Schleife ± 3000 Volt. Platte F. 21. Juni 05
Curve VI.

Volt	Ausschlag	Volt	Ausschlag	Volt	Ausschlag
(1) + 552	+ 13.2	— 2093	— 50.0	— 983	— 37.0
1081	31.0	1557	32.5	1496	59.0
1618	47.0	1027	17.0	2015	62.6
2156	63.0	— 539	— 3.6	2351	69.5
2601	72.0	0	+ 10.8	2798	81.0
3112	83.0	+ 536	26.2	2337	59.2
2588	62.0	1016	38.0	2000	48.0
2141	47.8	1537	51.0	1475	30.0
1599	30 5	2062	63.5	961	15.0
1065	16.2	2435	70.0	— 525	— 4.2
+ 546	+ 2 0	2963	81.2	0	+ 11.0
0	+ 12.8	2420	61.0	— 524	27.0
— 545	27.0	2046	48.8	950	36.4
1048	39.2	1516	31.5	1455	50.0
1577	53.0	996	16.0	1970	62.0
2108	66.0	+ 532	+ 3.5	2268	68.8
2516	74.2	— 0	— 11 8	2698	78.0
3006	88.0	— 531	— 27.0	3044	85.8
— 2502	— 63.2				

In diesem Falle ist das mittlere Glied das arithmetrische Mittel von den beiden andern, aber angesichts der kleinen Anzahl von Curven, konnte keine bestimmte Regel daraus gezogen werden.


Ω Galvanometer Curve
4000
3000
2000
1000
1000
2000
3000
Volt 4000
Platte F ± 4000 volt
Juni 20te 05
1)
2)
3)
Leitfähigkeit in Funktion
des Potentials
Curve V

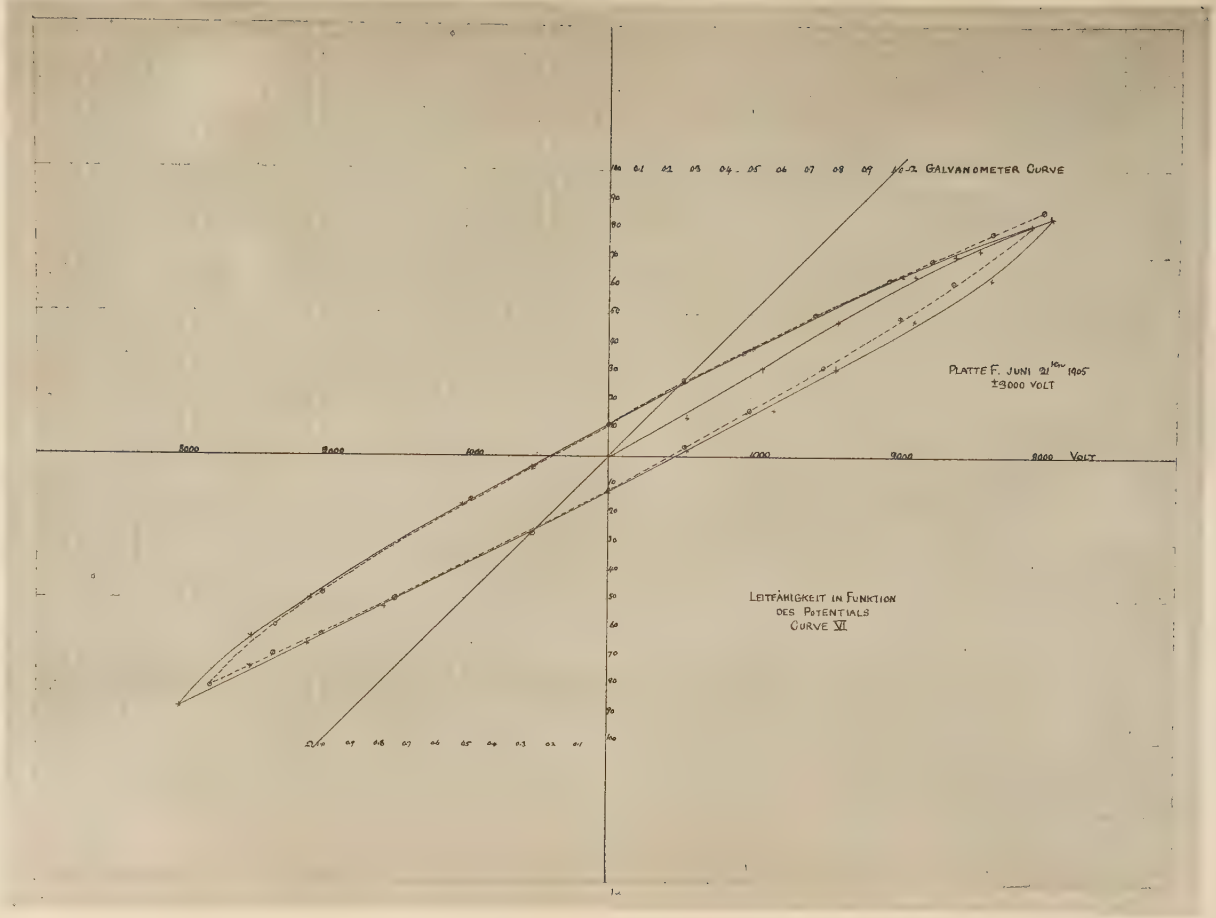

GALVANOMETER CURVE
PLATTE F. JUNI 21ten 1905
±3000 VOLT
VOLT
LEITFÄHIGKEIT IN FUNKTION
DES POTENTIALS
CURVE VI

Tabelle XI.

Drei Hysteresis Schleife ± 2000 Volt. Platte F. 23. Juni 05. Curve VII.

Volt	Ausschlag	Volt	Ausschlag	Volt	Ausschlag
(1) + 558	+ 13.0	+ 1587	+ 48.0	(3) + 1523	+ 36.5
1098	29.5	2124	58.9	994	20.0
1643	46.0	(2) 1580	37.5	+ 538	+ 6.5
2189	58.2	1040	21.0	0	— 8.2
1636	36.5	+ 546	+ 5.0	— 537	21.0
1086	18.0	0	— 8.2	982	32.0
+ 555	+ 5.0	— 545	— 23.0	1500	45 5
0	— 9.2	1029	— 35.2	2026	56.8
— 554	24.5	1558	47.0	1493	34.9
1075	35.8	2092	59.2	970	17.8
1615	49.8	1551	36.8	— 533	— 5.8
2157	60.8	1017	20.4	0	+ 7.8
1609	39.2	— 542	— 5.7	+ 532	23.0
1063	21.8	0	+ 8.2	958	31.3
— 551	— 6.4	+ 541	25.5	1472	44.0
0	+ 8 0	1005	33 8	+ 1994	+ 56.6
+ 550	23.9	1530	47.0		
+ 1052	+ 33.8	+ 2066	+ 58.8		

Die Empfindlichkeit des Galvanometers wurde so eingestellt, dass mit einem Ohm Nebenschluss, 5000 Ohm Widerstand in Serie und ein Clark Element ein Ausschlag von 100 mm erzielt wurde.

$$\text{Strom } i = \frac{e\,w}{W.\,G.} = \frac{1.4257 \times 110}{5000.5 \times 6521}$$

$$= 0.473132 \times 10.^{-7} \text{ Amp.}$$

und 100 mm Ablenkung (Ordinate)

= 100 mm auf dem Papier

also 100 mm Abscisse = 2000 Volt.

$\therefore$ 100 cm^2 Papier = 874.266 Erg.

Es kann also die verwendete Arbeit bei 4000, 3000 und 2000 Volt berechnet werden.

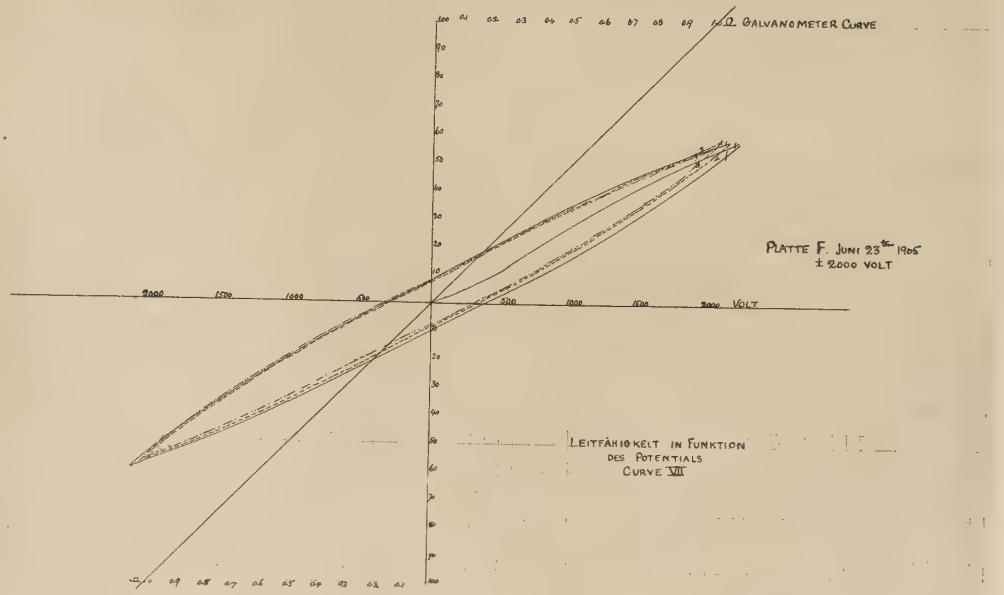
Aus den Curven kann noch folgendes entnommen werden.

1. Die gegenelektromotorische Kraft des Porzellans, wenn der Strom null ist, d. h. die Punkte, wo die Curven die Stromspannungsachse schneiden. Die Werte dieser elektromotorischen Kräfte, sowohl die positiven als die negativen, sind angegeben. Als unerklärte Ursache sind die positiven Werte grösser als die negativen.

4000 Volt Curve = $\pm$ 550 und — 540 Volt
3000 „ „ = + 450 „ — 420 „
2000 „ „ = $\pm$ 340 „ — 320 „

Es verhalten sich die Mittelwerte dieser Resultate zu einander wie folgt.

$$\sqrt{4000} : \sqrt{3000} : \sqrt{2000} : = 1.65 : 1.31 : 1.00$$


D. Galvanometer Curve
Platte F. Juni 23ten 1905
± 2000 Volt
2000
1500
1000
500
1000
1500
2000 Volt
Leitfähigkeit in Funktion
des Potentials
Curve VII

Mit der Länge der Schleife varirt auch die gegenelektromotorische Kraft.

2. Die Schnittpunkte der Curven mit der Ordinatenachse gibt uns die Grösse des Stromes bei Spannung 0

$\pm$ 4000 Curve $i_4 = +$ 12.0 und $-$ 12.5 mm
$\pm$ 3000 „ $i_3 = +$ 11.0 „ $-$ 12.0 „
$\pm$ 2000 „ $i_2 = +$ 8.0 „ $-$ 9.0 „

In diesem Falle sind die negativen Werte grösser als die positiven.

3. Die Ablenkungen (Ströme) bei $\pm$ 4000, $\pm$ 3000 und $\pm$ 2000 Volt sind.

$i\,4000 = +$ 93 und $-$ 98 mm
$i\,3000 = +$ 80 „ $-$ 88 „
$i\,2000 = +$ 54 „ $-$ 56 „

In diesem Falle sind die negativen Werte wiederum grösser als die positiven. Diese Resultate scheinen zu zeigen, dass in jedem Falle die Hysteresis-Schleifen in dem negativen Quadrant schwach flachgedrückt sind. Die Beobachtungen bei diesen Hysteresis-Curven wurden in $1^1/_2$ Minuten gemacht unter der Annahme, dass die Ladungszeit des Porzellans eine Minute war. Der Strom nach $1^1/_2$ Minuten würde dann ein reiner Leitungsstrom sein. Die Aenderung dieses Stromes mit der Zeit wurde nun beobachtet.

Aenderung der Leitfähigkeit von Porzellan mit der Zeit der Ladung.

Fünf Platten parallel geschaltet wurden in ein Glasgefäss gestellt, das hermetisch geschlossen war. Diese Platten wurden dann mit der Hochspannungsbatterie verbunden, deren Spannung 800 Volt war. Die Spannung wurde jede Minute mit einem Multicellular-Voltmeter und der Strom durch die Kurzschlussmethode gemessen.

Spannung und Stromcurve sind in Funktion der Zeit aufgezeichnet. Dividirt man Spannung und Strom, derselben Zeit entsprechend, durcheinander, so erhält man einen Wert, der der Leitfähigkeit proportional ist.

Die Resultate sind in Tabelle XII zusammengestellt und die Curven auf Blatt VIII aufgezeichnet. Daraus kann gesehen werden, dass die Leitfähigkeit stark in den ersten zehn Minuten, etwas schwächer in den folgenden zehn und dann stufenweise für eine Stunde fällt.

Da die Spannung von der Batterie ziemlich rasch herunterging, so konnte dies eine Ursache sein für das Fallen der Leitfähigkeitscurve in der zweiten halben Stunde.

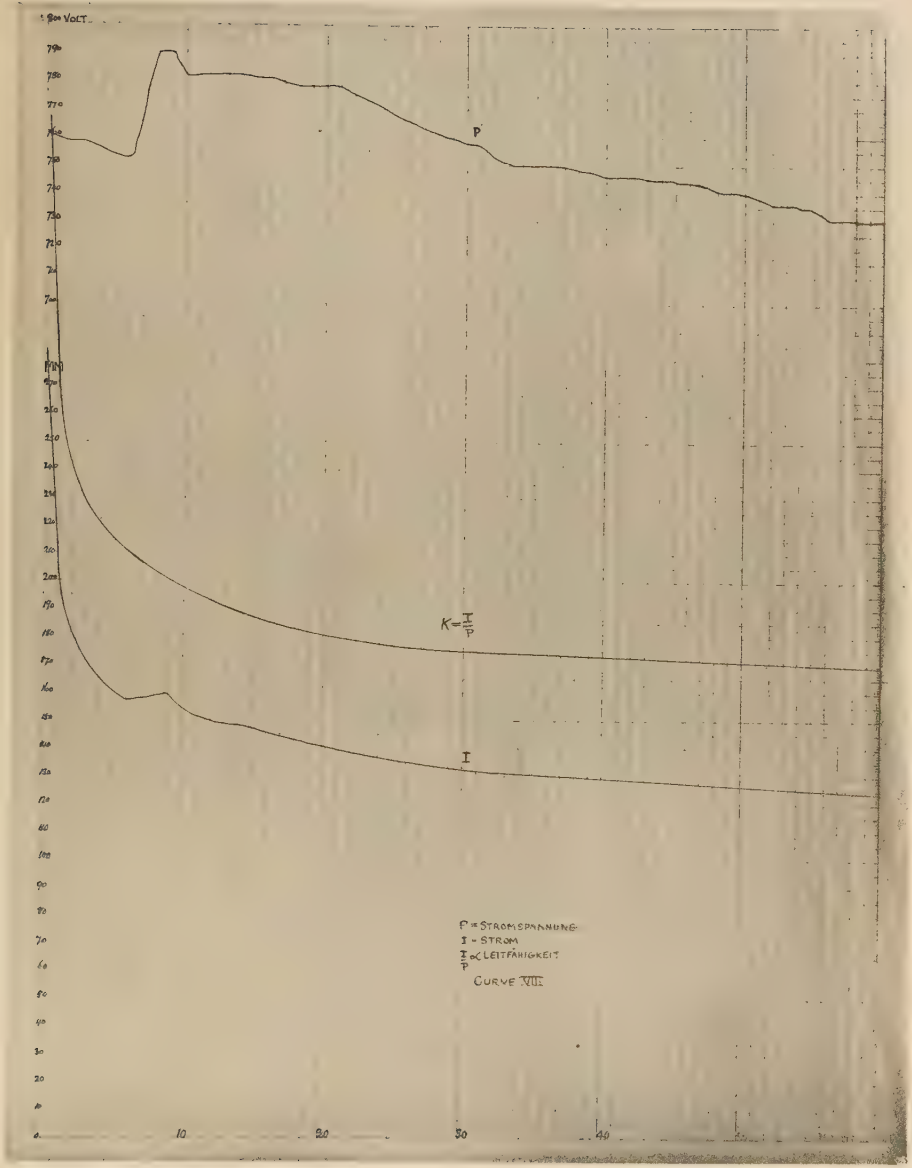

Volt
P
K=I/P
I
P = Stromspannung
I = Strom
I/P = Leitfähigkeit
Curve VIII
10
20
30
40

Tabelle XII.

Curve VIII. Stromspannung, Strom und Leitfähigkeit, Zeit, Curven.

Zeit	Strom-spann. S	Strom	Leit-fähig-keit	t	p	i	k	t	p	i	k	t	p	i	k
0.5	792	287	362	16	764	158.0	207	31	711	140.6	198	46	668	127.8	192
2.0	792	218	275	17	759	155.0	204	32	708	139.0	196	47	666	129.4	194
3	791	204	258	18	753	154.2	205	33	705	140.0	199	48	660	126.0	191
4	788	194	246	19	750	153.2	204	34	705	139.8	198	49	652	125.0	192
5	788	188	238	20	748	152.2	204	35	702	139.0	198	50	650	124.5	192
6	785	182.2	232	21	746	151.0	202	36	700	137.0	196	51	650	125.5	193
7	782	178.2	228	22	746	151.0	202	37	699	138.2	198	52	646	124.8	193
8	780	176.5	226	23	741	149.0	201	38	698	136.2	195	53	636	122.0	192
9	780	173.0	222	24	730	144.0	197	39	693	136.5	197	54	635	124.0	195
10	779	171.0	220	25	728	145.0	200	40	693	137.0	198	55	631	119.5	190
11	778	167.0	214	26	719	142.0	197	41	690	141.0	204	56	627	120.2	192
12	775	166.0	214	27	718	143.0	199	42	686	134.2	195	57	626	121.0	193
13	775	164.5	212	28	715	142.8	199	43	684	133 3	195	58	625	120.0	192
14	770	159.2	207	29	714	143.0	200	44	679	131.8	194	59	620	120.0	193
15	768	160.0	208	30	711	141.8	200	45	674	130.0	193	60	615	117.2	191

Um diese Tatsache zu prüfen wurden 15 Platten in ein gut isoliertes Gefäss mit Phosphorsäure und einem Thermometer gestellt. Die Platten wurden aufeinandergestellt und parallel durch Staniolstreifen miteinander verbunden. Das Gefäss wurde durch Paraffin hermetrisch geschlossen und die Zuleitungsdrähte durch Glasröhren, die mit Paraffin gefüllt waren, geleitet. Der Strom wurde von einer 100zelligen Batterie entnommen, deren Spannung während des Versuches als konstant angenommen werden konnte.

Die erhaltenen Resultate sind in Tabelle XIII wiedergegeben und die Curven auf Blatt IX aufgezeichnet. Diese Resultate bestätigen diejenigen die mit der Hochspannungsbatterie bekommen wurden.

In diesem erwähnten Versuche wurden die Platten für ca. 65 Stunden im Stromkreis gelassen. Der Strom, der nach $18^1/_4$ Stunden gemessen wurde, war viel kleiner als derjenige nach der ersten Stunde. Nach 65 Stunden 25 Minuten hatte der Strom einen Wert zwischen demjenigen gemessen nach $16^1/_4$ Stunden und nach einer Stunde. Diese Eigentümlichkeit kann von der Temperatur herrühren und wird später untersucht werden. Nach 65 Stunden 35 Minuten wurde der Strom unterbrochen und die Elektroden kurz geschlossen.

Ein grosser Strom in umgekehrter Richtung wurde dann erhalten, der viel grösser war als der

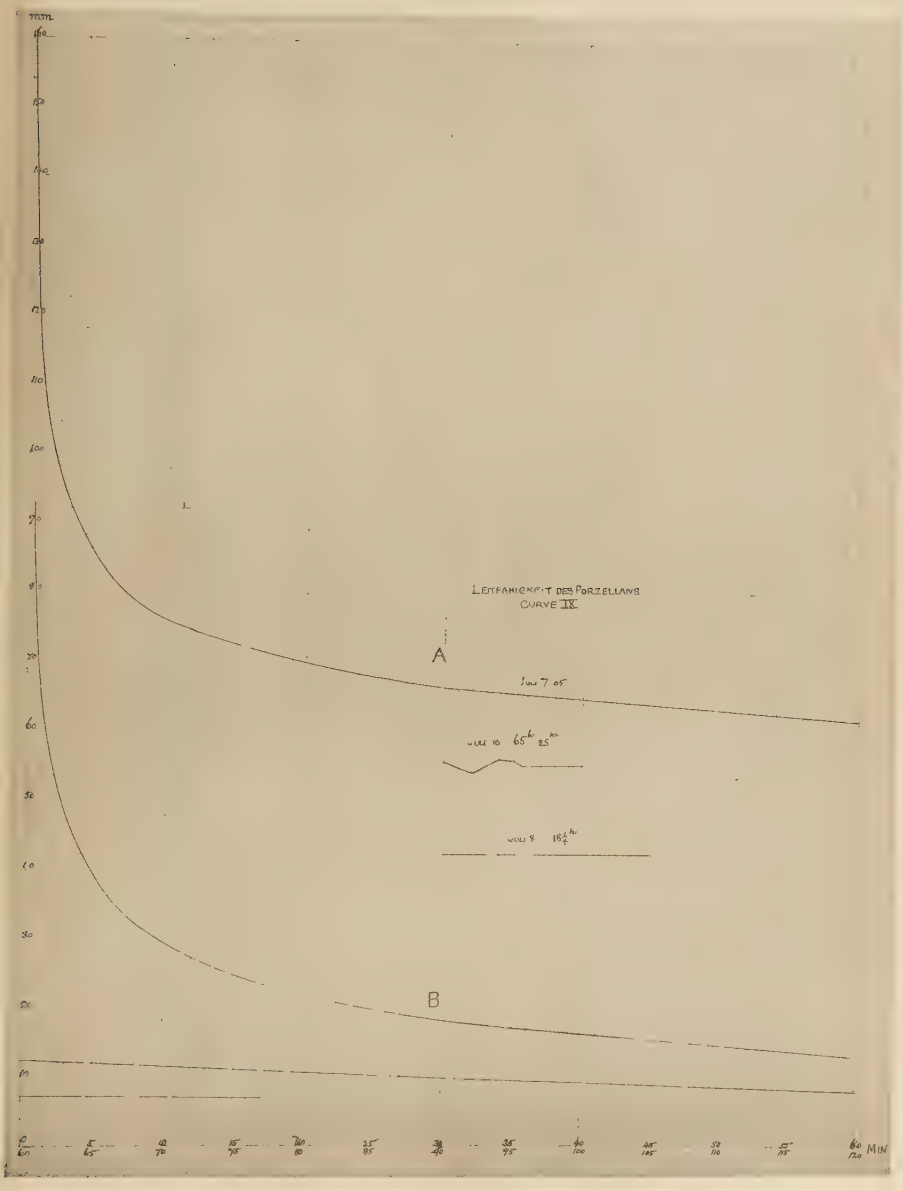
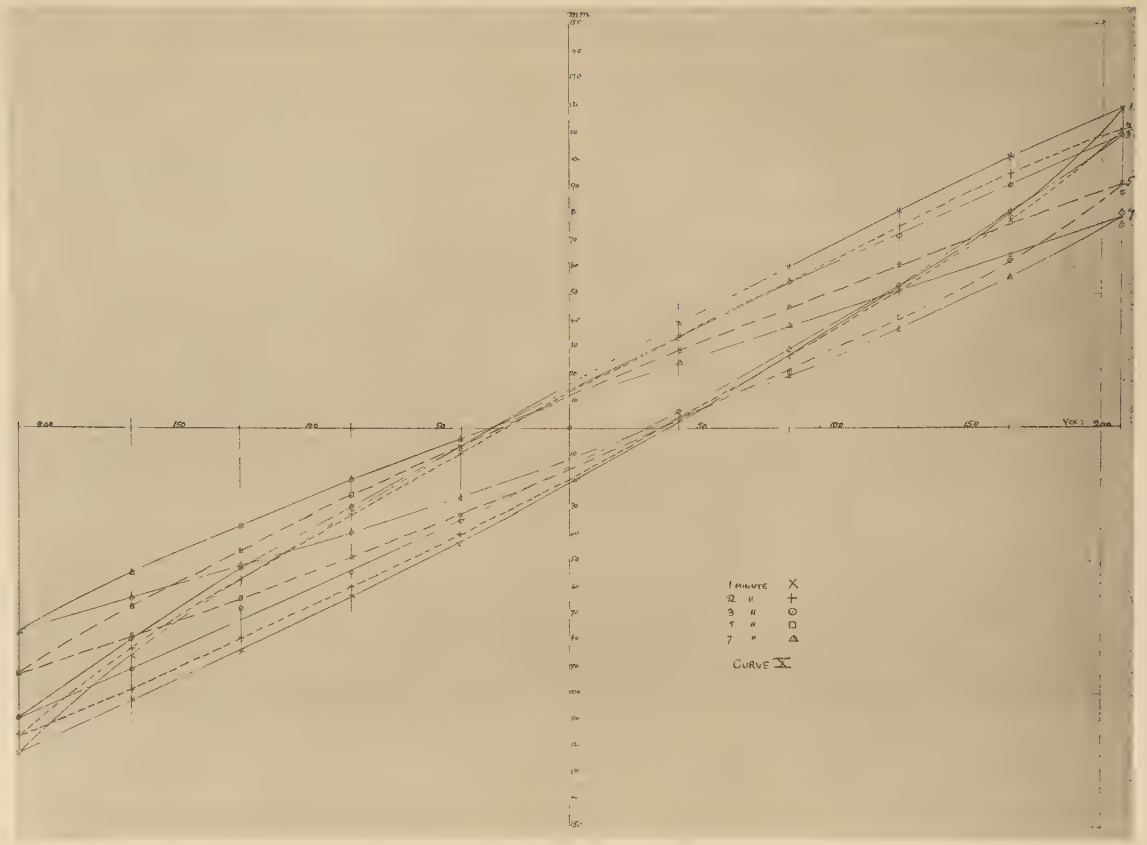

mm
LEITFÄHIGKEIT DES PORZELLANS
CURVE IX
A
Juni 7 05
Juli 10 65h 25m
Juli 8 18½h
B
MIN

Tabelle XV.

Curve 10

Schritt eine Minute								zwei Minuten				drei Minuten				fünf Min.		sieben Min.	
Volt	Ausschlag	Volt	Ausschlag	Volt	Ausschlag	Volt	Ausschlag	Volt	Ausschlag	Volt	Ausschlag	Volt	Ausschlag	Volt	Ausschlag	Volt	Ausschlag	Volt	Ausschlag
+1	23.5	+4	99.7	+3	+54.0	0	−20.5	+1	+25.0	+4	+94.0	+5	109.2	+3	+52.0	+1	+20.8	+5	+80.2
2	48.0	5	120.0	2	27.8	−1	42.0	2	48.0	5	111.8	4	82.0	2	29.0	2	39.0	4	56.5
3	70.6	4	82.1	+1	+4.3	2	62.5	3	68.6	4	80.0	3	54.8	+1	+6.0	3	55.3	3	37.0
4	92.3	3	53.0	0	−21.2	3	83.0	4	89.0	3	53.0	2	30.2	0	−15.0	4	71.8	2	19.8
5	112.2	2	26.8	−1	−42.8	4	102 2	5	107.0	2	28.0	+1	+7.2	−1	35.0	5	88.0	+1	+4.0
4	76.5	+1	+3.0	2	63.2	5	122.0	4	75.8	+1	+5.2	0	−14.8	2	54.4	4	62.1	0	−11.9
3	48.0	0	−21.0	3	83.0	4	87.0	3	50.0	0	−18.2	−1	34.5	3	63.2	3	41.3	1	26.0
2	+22.8	−1	40 2	4	103.0	3	56.0	2	26.0	−1	38.8	2	53.8	4	90.8	2	21.0	2	39.0
+1	−1.2	2	63.8	5	121.0	2	29.6	+1	+2.7	2	58.5	3	72.0	5	109.8	+1	+4.8	3	52.0
0	−25.0	3	83.8	4	87.5	−1	−6.5	0	−20.2	3	78.0	4	90.8	4	79.0	0	−16.0	4	64.0
−1	46.2	4	102.0	3	57.0	0	+18.0	−1	40.6	4	97.0	5	108.0	3	53.0	−1	32.6	5	77.0
2	66.2	5	122.1	2	30.0	+1	39.0	2	60.8	5	116.0	4	79.0	2	29.5	2	48.8	4	54.8
3	85.6	4	84.9	−1	−6.1	2	64.0	3	79.8	4	82.7	3	52.2	−1	−7.9	3	64.0	3	36.8
4	106.0	3	56.2	0	+17.7	3	83.0	4	99.8	3	55.0	2	−29.0	0	+15.9	4	78.1	2	−19.2
5	124.1	2	30.5	−1	40.0	4	102.5	5	117.0	2	31.2	−1	−7.2	+1	34.2	5	92.2	−1	−4.0
4	87.5	−1	−6.2	2	61.8	+5	121.0	4	84.2	−1	−8.0	0	+14.0	2	54.0	4	67.5	0	+11.0
3	58.0	0	+16.8	3	81.6			3	58.0	+0	+15.2	+1	34.0	3	72.0	3	46.2	+1	24.8
2	−30.8	+1	+40.0	4	100.0			2	33.2	+1	34.8	2	55.0	4	91.0	2	25.0	2	38.2
−1	−8.2	2	61.0	5	120.9			−1	−10.0	2	56.4	3	72.0	+5	109.0	−1	−6.8	3	51.8
0	+17.2	3	81.2	4	83.2			0	+12.0	3	75.5	4	90.0			0	+12.0	4	64.3
+1	39.0	4	101.0	3	54.0			+1	34.8	4	95.0	5	109.2			+1	29.0	5	76.2
2	59.7	5	119.8	2	28.6			2	55.3	+5	+113.8	+4	78.0			2	45.2		
+3	80.3	+4	83.2	−1	+4.0			+3	75.0							3	61.0		
																4	76.2		
																+5	91.2		


1 minute X
2 " +
3 " ○
5 " □
7 " △
Curve X

dass dieselben sich vollständig decken, ein Beweis, dass die Hysteresis periodisch ist.

Die Schritte sind durch ± 0, ± 1, ± 2, ± 3, ± 4 und ± 5 gekennzeichnet.

0 = 0 Volt, 1 = 41.3 Volt, 2 = 82.9 Volt,
3 = 124.3 „ 4 = 165.9 „ 5 = 207.4 „

Die Höhen der Schleifen wurden mittelst des Planimeters ausgemessen und ihr Verhältnis zu einander ist folgendes:

$h_1 : h_2 : h_3 : h_5 : h_7 = 171 : 146 : 126 : 122 : 100.$

Mit wachsender Ablesungszeit verkleinert sich die Höhe der Schleife.

Die maximal gemessenen Ströme von den Schleifen sind folgende:

$C_1 : C_2 : C_3 : C_5 : C_7 :: 158 : 150 : 141.5 : 120 : 100.$

Die Leitfähigkeitsversuche wurden nun wieder aufgenommen, der Strom floss nun während $101\frac{1}{2}$ Stunden durch die Platten bei Beobachtung der Temperatur. Nach dieser Zeit wurden die Elektroden kurz geschlossen und der Strom während vier Stunden gemessen. (Curve XI C).

Die Resultate sind in Tabelle XVI wiedergegeben und die Curven auf Blatt XI aufgezeichnet.

Die erhaltenen Curven haben denselben Charakter wie die auf Platte 8 und 9 aufgezeichneten.

Aus Curve XI B kann gesehen werden, dass der Strom mit der Temperatur sich ändert. Da aber das Porzellan die Temperaturveränderung des Zimmers nicht gleichzeitig mitmachte, wie das Thermometer, so trat der maximale Strom später ein als die maximale Temperatur.

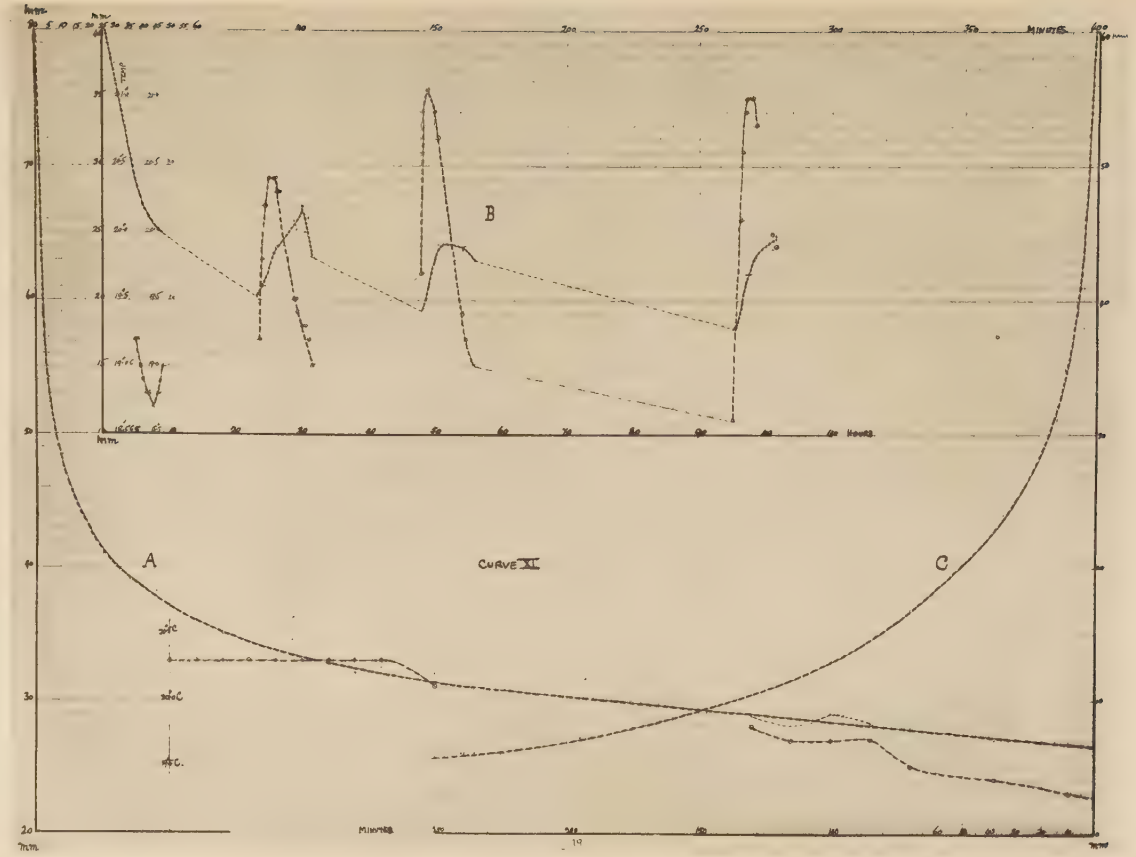

A
B
C
CURVE XI
MINUTES
HOURS
mm.

Tabelle XVI.

Zeit (T), Strom (i) und Temperatur (t). 101 mm für 1 Ω Nebenschluss. Clark Elt. 20 °C.
Serien Widerstand 5000.5 Ω. Gal. w = 6521. Stromspannung konstant = 212.5 Volt.

T′	i mm	t °C	T′	i mm	t °C	T′	i mm	t° C	T′	i mm	t °C
						St. Min.			St. Min.		
1/4	115.7	19.5	55	36.0	20.2	23 10	20.9	18.7	50 30	24.0	20 7
1	77.0	„	60	36 1	20.3	23 12	20.2	„	54 09	23.7	19.4
2	65.2		St. Min.			23 32	20.0	19.2	55 00	24.0	19.2
3	59.1	„	1 10	35.0	„	24 00	21.0	19.8	56 00	23.0	19.0
4	56.2	„	1 20	34.0	„	24 01	21.0	20.2	95 00	17.8	18.6
5	54.2	„	1 30	34.3	„	24 30	21.0	20.4	95 30	17.8	19.3
6	52 1	19.6	1 40	34.0	„	25 00	22.2	„	96 09	19.2	20.1
7	50.9	„	1 50	33.0	„	25 45	23.5	„	96 31	20.6	20.6
8	49.1	„	2 00	32.1	„	26 02	23.8	„	96 58	21.9	20.9
9	48.8	„	2 10	32.5	„	26 15	24.0	20.3	97 07	21.9	21.0
10	48.5	19.7	2 30	32.0	20.1	26 30	24.0	„	97 20	21.9	21.0
12	46.5	„	4 30	28.8	19.3	28 50	25.9	19.5	97 31	22.0	21.0
19	43.8	19.8	4 45	28.1	19.2	29 05	25.5	„	98 00	23.0	21.0
21	42.0	„	5 00	29.0	„	29 15	25.2	19.4	98 30	23.2	20.8
25	41.1	20.0	5 15	28 3	„	30 01	27.0	19.3	101 02	23.8	20.0
30	40.1	„	5 30	27.8	19.0	30 30	24.0	„	101 27	25.0	19.9
35	39.1	„	6 02	27.0	18.9	31 30	23.2	19.0			
40	39 0	„	6 30	26.9	18.8	33 30	23.8	19.4			
45	38.2	20.1	7 01	26.1	18.8	48 00	19.2	19.7			
50	37.2	„	7 33	25.1	18.7	49 00	21.0	21.6			
			8 30	25.1	18.8	50 00	22.9	20.9			
			9 00	25 0	19.0						

Elektroden kurz geschlossen.

Curve XI C.

Zeit	An-schlag	Zeit	An-schlag
		St. Min.	
4″	—177.0	2 27	9.1
1	72.2	2 28	9.8
2	57.5	2 29	9.1
3	50.2	2 30	9.4
4	47.7	2 44	8.2
5	48.8	2 45	8.8
6	42.0	2 46	8.2
7	40.2	2 55	7.8
8	38.6	3 13	7.8
9	37.5	3 14	7.0
10	35.6	3 15	7.1
12	34.9	3 28	7.2
15	31.1	3 29	6.9
20	28.9	3 30	6.0
27	26.1	3 44	6.0
35	24.0	3 45	6.0
St. 45	19.0	3 55	6.0
1 01	17.9	3 57	5.9
1 10	16.9	3 58	5.1
1 12	15.0	3 59	6.0
1 52	12.1	4 00	5.9

Elektrische Ladung in Abhängigkeit von der Temperatur.

Drei Porzellanplatten wurden in ein Kupfergefäss gestellt, das sich in Oel befand. Das Oel wurde zuerst mit einem Bunsen-Brenner erwärmt. Die so erreichte Temperatur wurde dann durch einen elektrischen Strom konstant erhalten. Der Strom konnte nach Belieben reguliert werden und somit auch die Temperatur des Oelbades.

Der Heizer bestand aus einem gitterförmigen Gestell aus Eisendraht, das mit Asbest isoliert war und die Wandung des inneren Gefässes bedeckte. (Figur 4).

Das Oel wurde durch eine Pumpe auf den Deckel des inneren Gefässes gebracht. Der Abfluss des Oels in das Bad geschah durch Heber. Die Temperatur des Porzellans wurde mittelst einem Thermometer, das dasselbe berührte, ermittelt. Das Porzellan wurde nach der früher beschriebenen Methode geladen und entladen.

Ladung und Entladung waren je von der Dauer

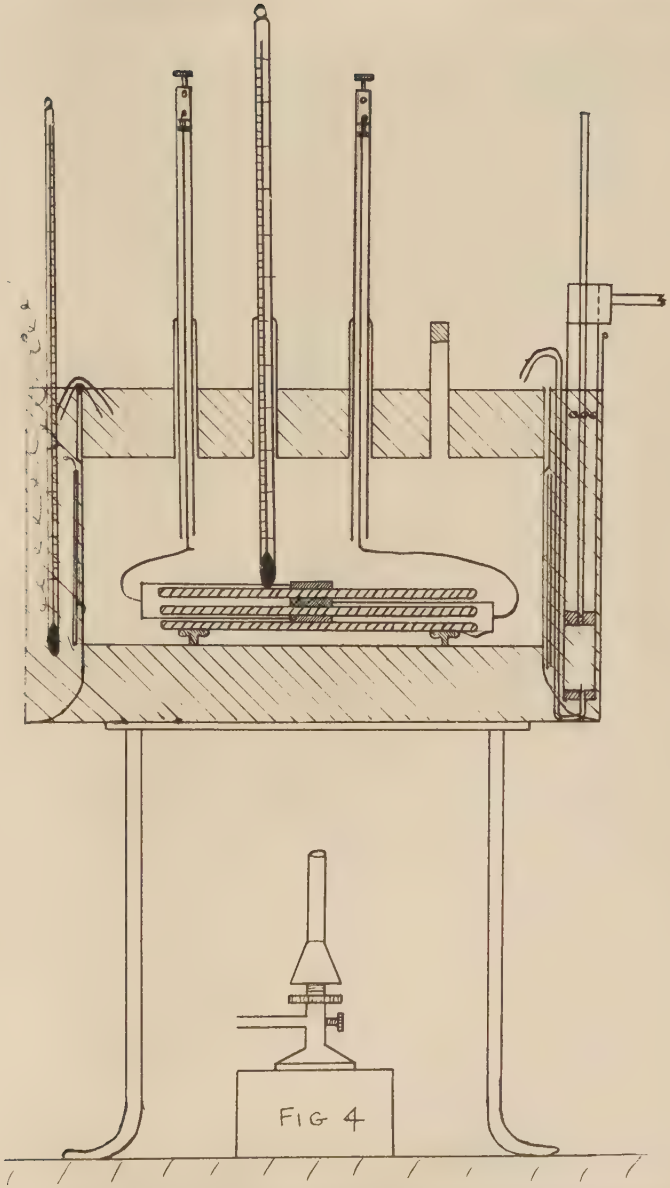


FIG 4

einer Minute. Die Stromrichtung wurde jedesmal umgekehrt um die Polarisationswirkung aufzuheben. Die Ladung und Entladung wurde fortgesetzt bis Ausschlag und Temperatur für wenigstens eine Stunde konstant waren.

Die Resultate dieser Untersuchung befinden sich in Tabelle 17 und die Curven sind auf Blatt (13 a) aufgezeichnet.

Der erste Teil der Tabelle XVII ist von Tabelle III entnommen. Aus den erhaltenen Resultaten ist zu sehen, dass die Temperatur einen sehr grossen Einfluss auf die dielektrische Konstante hat.

Bei Temperaturen zwischen 0° und 30° ist die Vergrösserung der Capacität viel kleiner als bei höhern Temperaturen.

Zwischen 0° und 30° beträgt der Zuwachs der Capacität 0.0006 mf., also 54 %, dagegen zwischen 70° und 100°, 0.0052 mf., oder 108 %. Der Zuwachs ist also im zweiten Falle neun mal grösser als im ersten Falle. In Curve B sind die Logarithmen der Ordinaten aufgezeichnet und aus dieser Curve ist zu entnehmen, dass die dielektrische Konstante zwischen 0 und 30° eine quadratische Funktion der Temperatur ist.

Die Capacität bei t° für dieses Temperaturintervall ist, wenn C_0 = Capacität bei 0°,

$$C_t = C_0 \cdot (1 + 0.00223\ t + 0.0005\ t^2)$$

Zwischen 30° und 100° ist die logarithmische

Tabelle XVII.

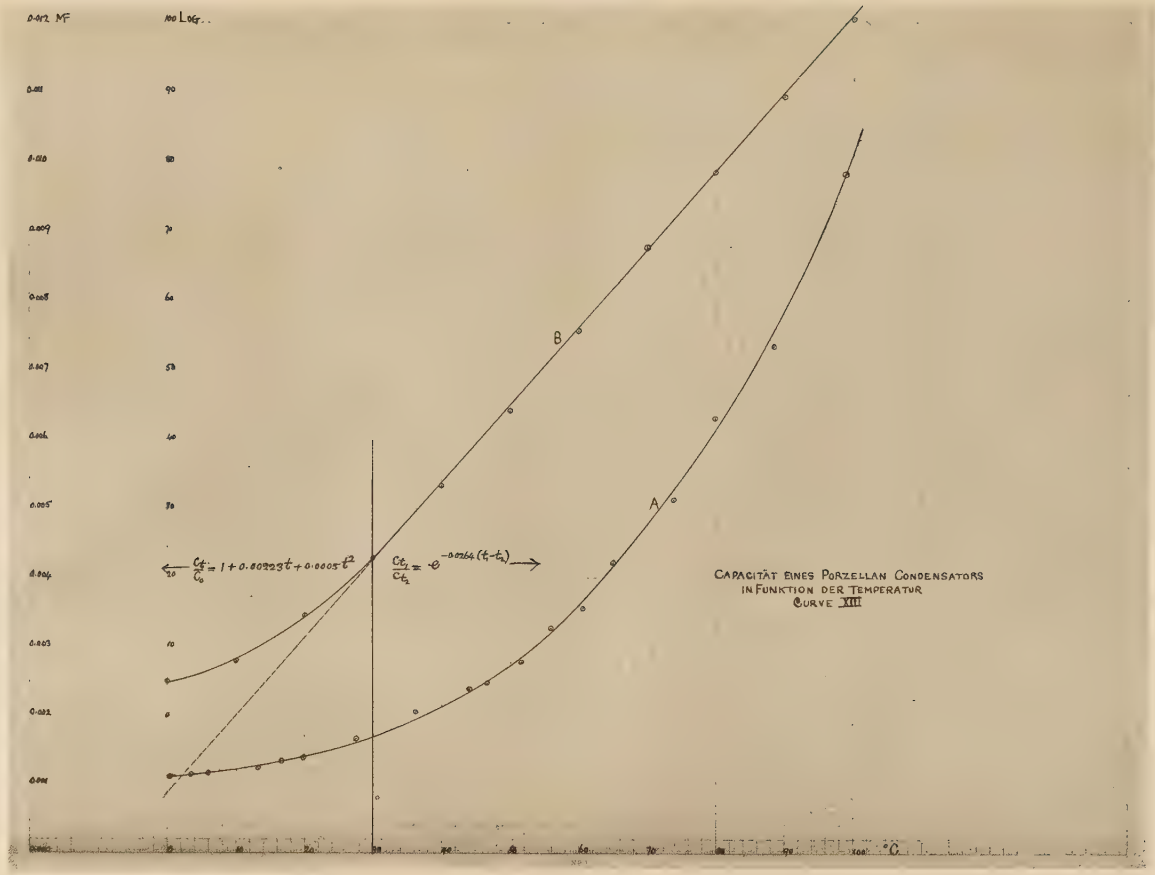
Curve XIII a.

Temperatur °C	Capacität mf
0.38	0.0011170
3.44	0.0011574
5.93	0.0011613
13.17	0.0012293
16.52	0.0013280
19.92	0.0013803
27.55	0.0016746
36.22	0.0020773
44.04	0.0023920
46.66	0.0024665
51.59	0 0027768
55.93	0.0032743
60.50	0.0035531
65.00	0.0042166
73.89	0.0051211
79.88	0.0063010
88.56	0.0073380
99.00	0.0098226

Elektroden Fläche $3 \times \frac{\pi}{4} \times 20.5^2 = 3 \times 330.64$ cm²

Platten-Dicke 0.572, 0.567, 0.549 cm.

Curve praktisch eine gerade Linie, so dass die Capacität eine exponentiale Funktion von der Temperatur ist.



CAPACITÄT EINES PORZELLAN CONDENSATORS
IN FUNKTION DER TEMPERATUR
CURVE XIII

Ist C_{t_1} die Capacität bei t_1^0
und C_{t_2} „ „ „ t_2^0

so ist:

$$\frac{C_{t_1}}{C_{t_2}} = e^{0.0264\,(t_2 - t_1)}$$

Die dielektrische Konstante für Porzellan bei einer Temperatur von 20° C aus Tabelle XVIII und folgender Formel ausgerechnet ergab einen Wert von 8.95.

$$C\ (\text{mf.}) = \frac{r^2}{36a \times 10^5}\ K$$

$$C_{20} = \frac{0.001394}{3}\ \text{mf.}$$

$$r = \frac{20.5}{2}\ \text{Cm.}$$

$$a = 0.56_2\ \text{Cm.}$$

$$\therefore K = 36 \times 10^5 \times \frac{a \times C}{r^2}$$

$$= \frac{36 \times 4 \times 0.562 \times 0.001394 \times 10^5}{20.5 \times 20.5 \times 3}$$

$$\therefore \mathbf{K = 8.95}.$$

Elektrische Ladung bei cyclischer Veränderung der Potentialdifferenz.

Drei Porzellanplatten wurden in ein Kupfergefäss gestellt, worin sich auch Phosphorsäure befand. Die Platten wurden mit einer doppelpoligen Wippe verbunden, die zum Laden und Entladen derselben diente.

Die eine Seite der Wippe konnte mit dem Galvanometer, die andere mit der Batterie in Verbindung gesetzt werden. (Fig. 3).

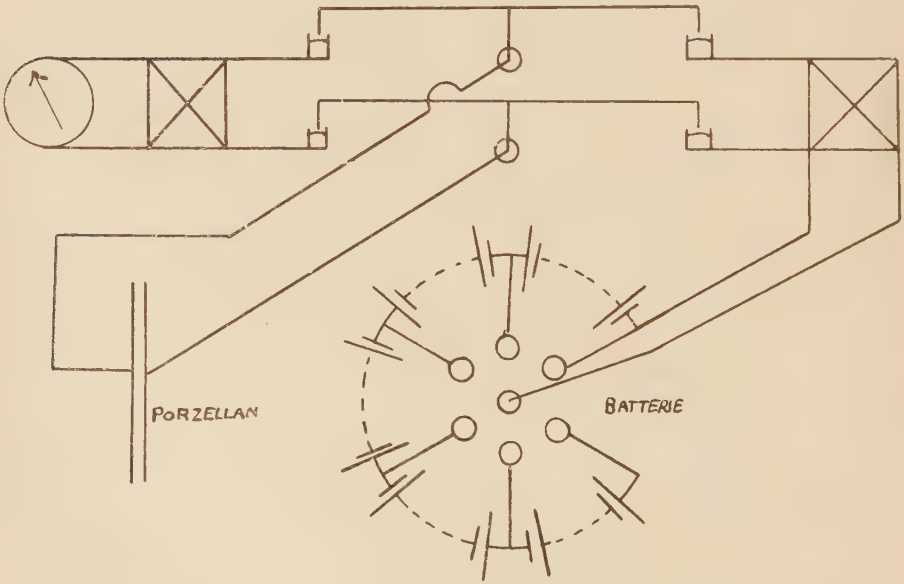


FIG 3.

Die Batterie bestand aus fünf Reihen von je 20 Zellen, und die getroffene Anordnung erlaubte, so viel von diesen Reihen zu brauchen als nötig war. Vor Galvanometer und Batterie waren stromumkehrende Wippen, die aus Quecksilbernäpfen bestanden, auf Paraffin isoliert. Die elektrische Menge wurde in Bezug auf Potentialdifferenz gemessen, welche stieg oder fiel um 40 Volt bei jedem weiteren Punkte. Die Zeit zwischen zwei Ablesungen war eine Minute. Die erhaltenen Resultate befinden sich in Tabelle XVII und die Curve ist auf Blatt XIII aufgezeichnet, woraus zu ersehen ist, dass die absteigenden Werte grösser als die aufsteigenden sind.

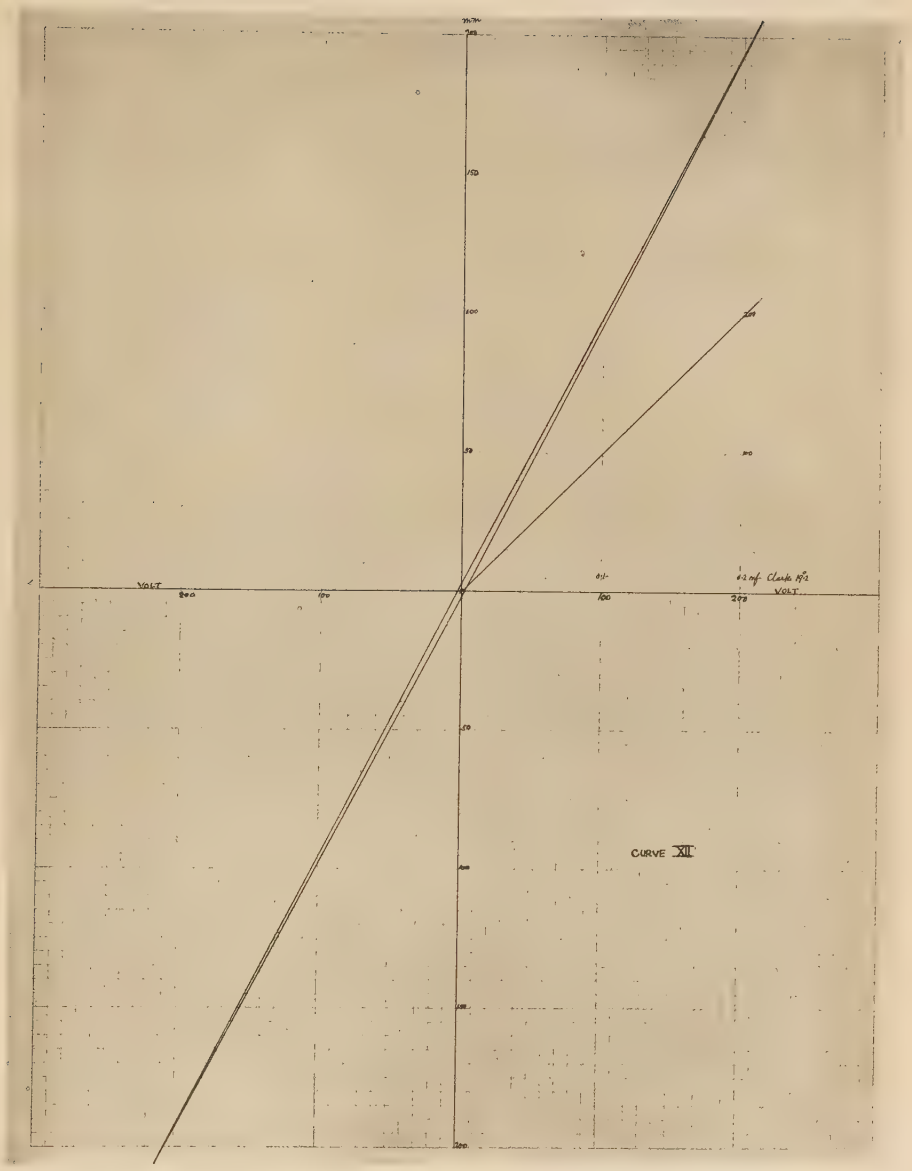
Potential	0 =	0	Volt
	1 =	42.0	„
	2 =	85.0	„
	3 =	127.2	„
	4 =	171.0	„
	5 =	212.5	„

Galvanometer 0.1 mf. 1 Clark Elt. (19.2 °C) = 98.0 mm
„ 0.2 „ 1 „ „ = 199.1 „

Tabelle XVIII.

Curve XII.

Reihen	Cycle 1	2	3	4	5	6	corr. Mittel-wert
+ 5	+ 209.1	206.0	206.2	206.0	206.0	205.5	205.7
4	167.2	166.1	165.5	165.5	165.2	165.0	165.4
3	124.5	125.0	124.8	124.5	124.5	123.5	124.3
2	83.9	83.5	83.0	84.0	83.5	83.2	83.1
+ 1	+ 42.4	42.2	43.0	42.8	42.0	42.2	42.4
0	+ 2.5	+ 2.2	+ 3.1	+ 2.7	+ 2.9	+ 3.2	+ 2.77
— 1	— 40.5	— 40.0	— 39.2	— 40.0	— 39.8	— 39.8	— 39.9
2	81.5	81.8	81.1	81.8	81.0	81.8	81.5
3	123.2	122.2	123.0	124.0	122.2	125.0	123.1
4	165.0	164.0	164.2	164.2	166.0	167.0	164.7
5	207.0	206.1	206.0	206.0	206.0	209.3	206.0
4	166.0	166.0	166.0	165.5	165.0	167 5	165.7
3	124.5	125.2	124.2	124.8	124.5	125.6	124.7
2	84.0	84.2	83.8	84.2	83.2	83.5	83.8
— 1	42.5	42.0	42.1	42.2	42.6	42.6	42.3
0	— 3.5	— 2.1	— 2.3	— 3.1	— 2.5	— 2.8	— 2.72
+ 1	+ 39.8	+ 38.0	+ 40.0	+ 40.0	+ 39.7	+ 40.0	+ 39.6
2	81.4	81.2	81.2	81.1	81.2	81.8	81.3
3	122.8	124.0	123.0	122.8	122.2	122.8	122.8
+ 4	+ 165.0	164.8	164.2	164,0	164.0	164.0	164.0
Temp. °C	19.6	19.4	19.4	19.3	19.3	19.3	19.31


VOLT
VOLT
CURVE XII

Um die Isolation zu prüfen, wurden die Zuleitungsdrähte des Stromkreises aus den Näpfen 2 cm herausgenommen. Da man bei der Prüfung der Isolation keinen Ausschlag am Galvanometer hatte, so war diese vollkommen.

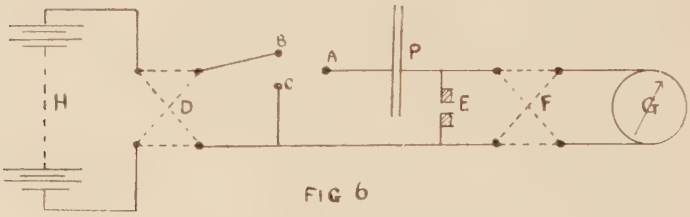


FIG 6

H Batterie.

D Batterie umkehrende Wippe.

E Galvanometer Kurzschluss-Wippe.

F Galvanometer umkehrende Wippe

P Porzellan.

A B C Ladungs- und Entladungs-Wippe.

Verband man A mit B, so ging der Strom durch das Porzellan und verband man A mit C, so war das Porzellan kurz geschlossen und dasselbe entlud sich.

Nach einer Minute Ladung wurde der Kurzschluss des Galvanometers geöffnet und abgelesen. Das Porzellan wurde dann für vier Minuten entladen so dass keine Polarisationswirkung zurückblieb.

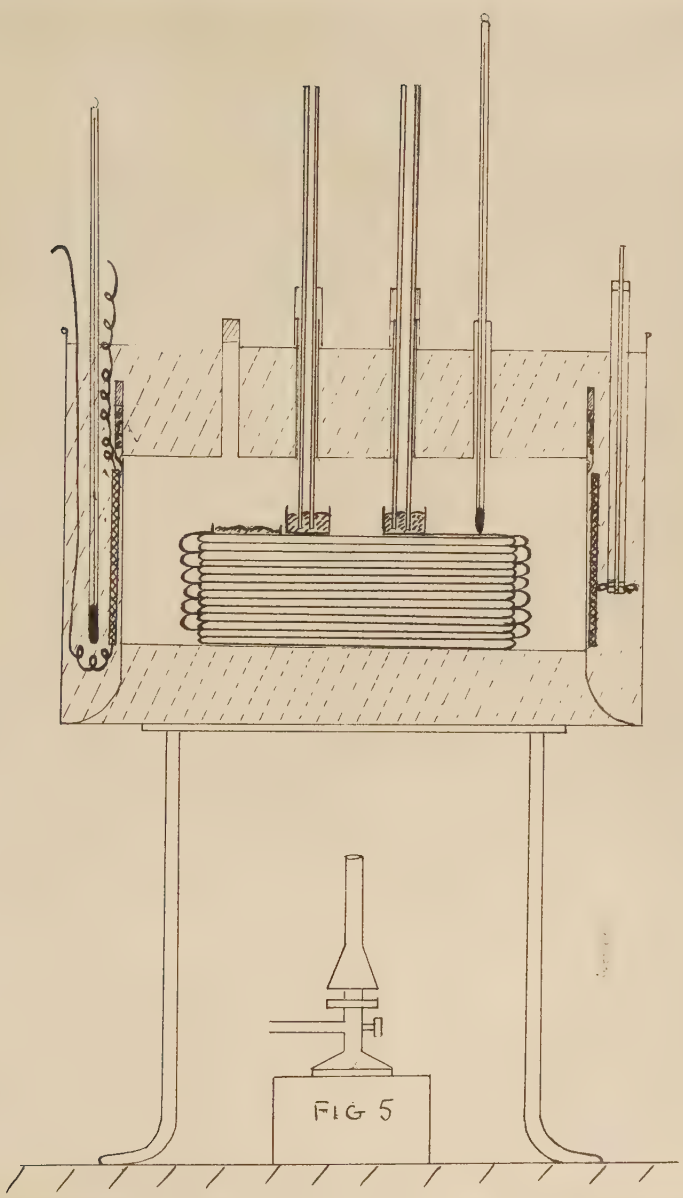


FIG 5

Dann wurde der Strom umgekehrt und die Leitfähigkeit wieder gemessen. Bei jeder Galvanometer-Ablesung wurde gleichzeitig die Temperatur beobachtet. Waren Temperatur und Ausschlag für wenigstens eine Stunde konstant, so wurde das Mittel aus den Werten genommen und aus diesem die Leitfähigkeit berechnet.

Das Porzellan wurde gewöhnlich 5 bis 6 Stunden einer gewissen Temperatur ausgesetzt, da dies sehr lange Zeit in Anspruch nahm, um den dieser Temperatur entsprechenden Wert anzunehmen.

Die Resultate dieser Untersuchung sind in Tabelle XIX gegeben und in Curve XIV aufgezeichnet. Es ist daraus zu sehen, dass mit wachsender Temperatur die Leitfähigkeit rasch zunimmt. Die Logarithmen der Ordinaten wurden ausgerechnet und aufgezeichnet. Die so erhaltenen Punkte liegen auf einer geraden Linie, so dass die Leitfähigkeit eine exponentiale Funktion der Temperatur ist.

Die Leitfähigkeit (γt_1) für eine Temperatur t_1 lässt sich aus folgender Formel berechnen, wenn γt_2 die Leitfähigkeit für eine beliebige Temperatur t_2 ist.

$$\frac{\gamma_{t1}}{\gamma_{t2}} = e^{0.090837\ (t_2 - t_1)}$$

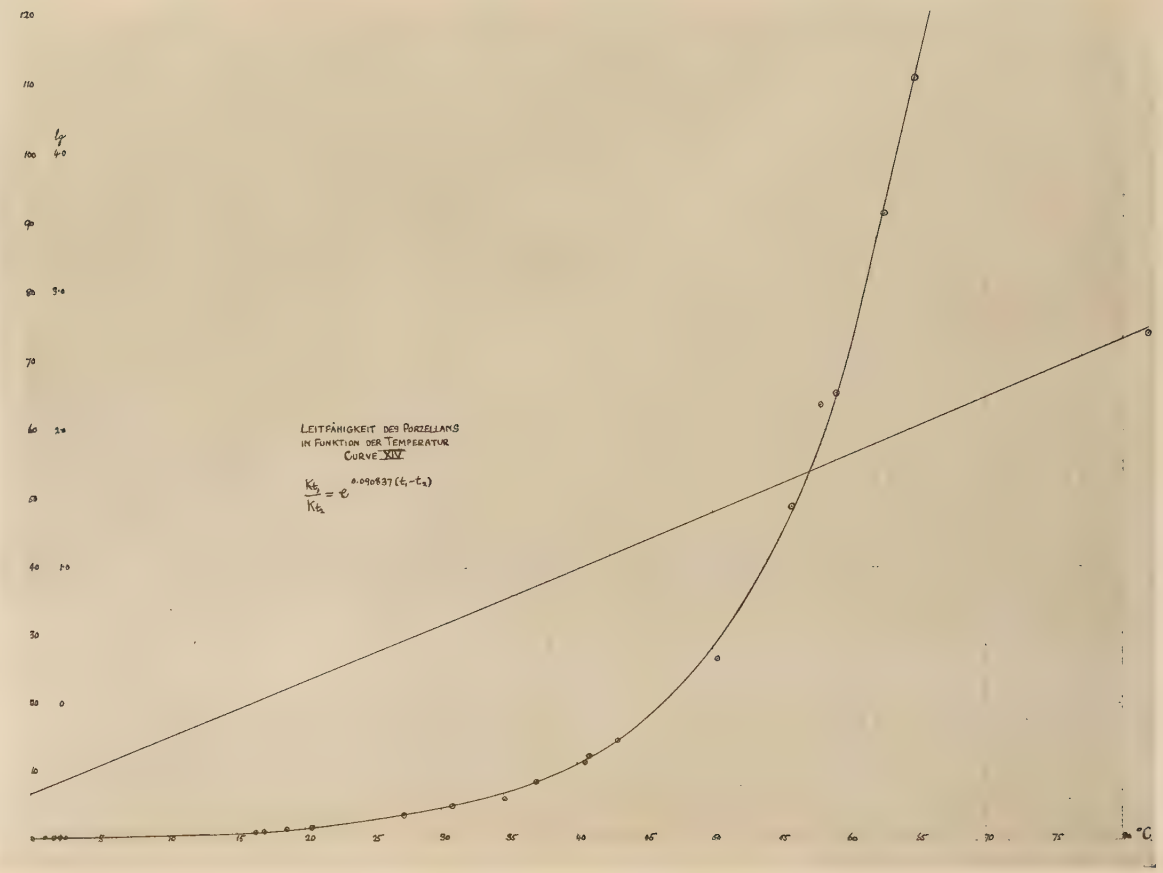
Tabelle XIX.

Curve XIV.

Temperatur °C	Leitfähigkeit $\times 10^{10}$
1.63	0.49272
2.10	0.50133
16.40	1.3708
17.00	1.3881
18.65	1.6690
20.50	1.9883
27.32	3.5125
30.87	5.0210
34.70	5.9972
37.03	8.5671
40.62	11.288
40.86	12.352
43.03	14.548
47.00	17.546
50.40	26.693
54.01	39.669
56.51	48.850
58.04	62.678
59.12	65.273
62.72	91.287
64.89	110.75
81.93	485.67

Aus Tabelle XIX und Gleichung erhält man für die spezifische Leitfähigkeit von Porzellan bei 20^0

$$0.2624 \times 10 - {}^{13} \text{ pro } Cm^3$$


LEITFÄHIGKEIT DES PORZELLANS
IN FUNKTION DER TEMPERATUR
CURVE XIV
$\frac{K_{t_1}}{K_{t_2}} = e^{0.090837(t_1 - t_2)}$
lg
°C

Dabei war die mittlere Dicke der zwölf Platten 0.562 cm und die Elektroden-Fläche

$$\frac{12 \times \pi \times 20.5^2 \text{ Cm}^2}{4}$$

$$\gamma_{20} = 1.8943 \times 10^{10} \times \frac{D}{F}$$

$$= \frac{1.8943 \times 0.562 \times 4}{12 \times 20.5 \times 20.5 \times \pi} \times 10^{-10}$$

$$\therefore \gamma_{20} = 0.2624 \times 10^{-13} \text{ pro Cm}^3.$$

Curriculum vitae.

Harold Firth Haworth, born October 15th 1882 Liverpool, County Lancashire England.

Liverpool Institute, Commercial School	1890—1899
University College, Liverpool (Victoria University)	1899—1904
And University Liverpool	„
Liverpool City Council Scholar	1899—1902
Preliminary, Bachelor of Science (B. Sc.) (Honours School of Engineering)	1900
Intermediate „	1901
Final „	1902
David Rew Memorial Scholar (University of Liverpool)	1903
Bachelor of Engineering (B. Eng) University of Liverpool	1904
Master of Science (M. Sc.) Victoria University	1905
1851 Exhibition Scholar, University of Liverpool	1904—1906
Zurich Polytechnikum and University	1904—1906